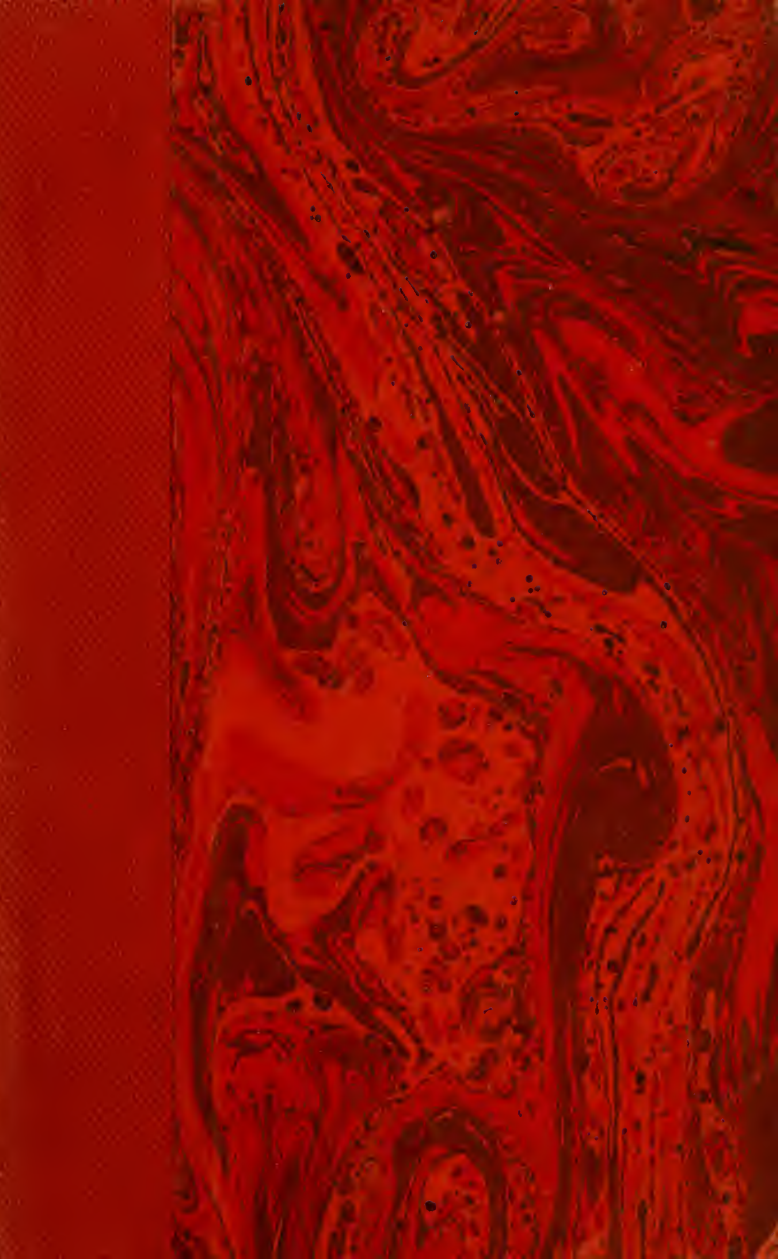
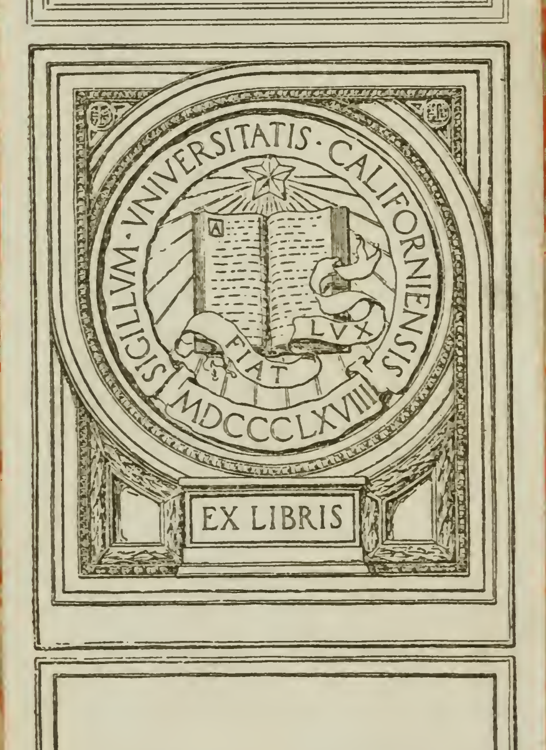



SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS



PAGES D'HISTOIRE — 1914-1917

11e Série e

J. HUTTER

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA MARINE

LES SOUS-MARINS

HISTORIQUE DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE
LES SOUS-MARINS DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES
UTILISATION DES SOUS-MARINS — LES MOTEURS DES SOUS-MARINS
EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES SOUS-MARINS
LES MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES SOUS-MARINS
LES EXPLOITS DES SOUS-MARINS ALLIÉS

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS
5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
RUE DES GLACIS, 18

130

Prix : **90** *centimes.*

LES SOUS-MARINS

Il a été tiré de ce volume cinquante-cinq exemplaires numérotés, dont :

5 sur papier du Japon (Nos 1 à 5);

50 sur papier de Hollande (Nos 6 à 55).

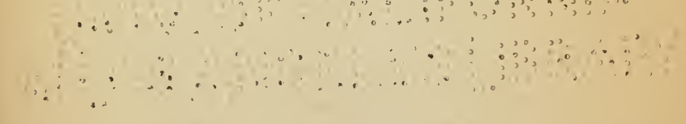
PAGES D'HISTOIRE — 1914-1917

J. HUTTER

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA MARINE

LES SOUS-MARINS

HISTORIQUE DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE
LES SOUS-MARINS DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES
UTILISATION DES SOUS-MARINS — LES MOTEURS DES SOUS-MARINS
EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES SOUS-MARINS
LES MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES SOUS-MARINS
LES EXPLOITS DES SOUS-MARINS ALLIÉS



LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS — 5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY — RUE DES GLACIS, 18

1917

LES SOUS-MARINS

CHAPITRE I

HISTORIQUE DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE

Par une tendance très naturelle de l'esprit, on a souvent rapproché, ces derniers temps, la navigation sous-marine de l'aviation : l'une et l'autre, en effet, ont permis à l'homme d'explorer des domaines qui lui ont été interdits complètement pendant des siècles et qui semblaient devoir être éternellement réservés, l'un aux poissons et l'autre à la gent ailée. Les progrès de la science, et plus particulièrement de l'industrie, qui n'est que de la science appliquée, ont bouleversé ces prévisions, et ce qui était considéré, depuis la malheureuse tentative d'Icare, comme l'exemple le plus caractérisé de l'utopie, est devenu en ces dernières années une réalité, souvent même une cruelle réalité.

Ce rapprochement entre l'aviation et la navigation sous-marine n'est pas, en effet, uniquement artificiel. Entre l'avion et le dirigeable d'une part, et le sous-marin d'autre part, il y a plus que l'ana-

logie superficielle entre deux véhicules qui tous deux se meuvent au milieu d'un fluide et ont la précieuse faculté de pouvoir se déplacer suivant trois dimensions, alors que tous les autres engins mobiles ont leurs mouvements limités à deux dimensions et sont inéluctablement astreints à rester soit à la surface du sol, soit à la surface de la mer.

Si l'on étudie de plus près la théorie de ces appareils, si l'on examine leurs conditions de sustentation, de direction, de stabilité, on est frappé de la similitude des moyens et des organes employés. Il y a un parallélisme étroit entre les ballasts des sous-marins et le lest des ballons, les gouvernails de plongée des premiers et les ailerons et plans stabilisateurs des seconds. Les dénominations mêmes des organes accusent cette parenté étroite; sous-marins et avions ont des gouvernails de profondeur ou équilibreurs qui sont utilisés de la même façon. Si l'on va plus loin enfin et si l'on cherche à traduire numériquement les conditions de fonctionnement des avions et des bâtiments sous-aquatiques, ce n'est pas sans étonnement que l'on constate l'identité presque absolue des équations qui régissent le mouvement de ces engins.

Accessoirement même, il n'est pas sans intérêt de rappeler que, si le premier aéroplane qui ait volé est dû aux travaux et aux expériences de deux Américains, Wilbur et Orville Wright en 1908, le premier sous-marin qui ait évolué entre deux eaux nous venait d'Amérique et avait été conçu et exécuté par le génial Fulton. C'est tout au moins une coïncidence assez curieuse en elle-même.

Il y a toutefois entre ces deux sortes de navigation, l'aérienne et la sous-marine, une différence

importante que l'on oublie trop facilement : c'est que la seconde est antérieure à la première de plus d'un siècle.

Le sous-marin de Fulton auquel nous avons fait allusion doit en effet être considéré comme le précurseur direct des engins beaucoup plus perfectionnés avec lesquels les Allemands prétendent affamer l'Angleterre par la suppression totale du commerce maritime.

Il le mérite au même titre que l'avion d'Ader et que les autres machines volantes plus récentes peuvent prétendre avoir frayé la voie aux avions de chasse ou de bombardement sortis les derniers de nos ateliers de construction.

Ce sous-marin de Fulton est intéressant, à la fois, parce qu'il a résolu, le premier, un problème réputé jusqu'alors insoluble, et aussi parce qu'on y retrouve, en quelque sorte à l'état de germe, la plupart des organes qui constituent actuellement le sous-marin moderne du type le plus perfectionné.

Comme la construction métallique n'était pas encore en usage à l'époque où Fulton réalisa son sous-marin, sa coque était en bois, formée de bordages soigneusement assemblés et calfatés pour assurer l'étanchéité et résister à la pression de l'eau en plongée. Il avait la forme d'une barque entièrement pontée et dont l'écoutille unique, analogue aux capots des sous-marins modernes, était fermée au moment de la plongée par un panneau exactement ajusté à l'ouverture. En immersion l'engin était mû à bras d'homme, au moyen de sortes de rames qui servaient à la fois à la propulsion et à la direction du navire. Ces rames jouaient donc le rôle de l'hélice actuelle et en même temps celui des gouvernails de plongée et de direction. Pour

immerger le bateau, on l'alourdissait en remplissant d'eau des barils placés à l'intérieur de la coque, tout comme maintenant on remplit d'eau les water-ballasts. Revenu en surface, l'équipage hissait un petit mât qui, rapidement gréé d'une voilure simplifiée, permettait de faire route sans avoir à se fatiguer. Ce point est particulièrement à retenir, car on retrouve dès l'origine le principe si fructueux du submersible ou sous-marin autonome: l'emploi de deux moteurs différents pour la marche en surface et en plongée.

En *surface,* le moteur économique, qui permet les longs parcours, et à cet égard le sous-marin de Fulton l'emportait sur nos submersibles les plus récents, puisque la force du vent, qui ne coûte rien, ne dépense aucun combustible, est encore plus économique que les meilleurs moteurs à pétrole.

En *immersion,* un moteur beaucoup plus lourd et moins économique, mais suffisant néanmoins si l'on n'envisage que des plongées de durée assez courte ; ce sont précisément les caractéristiques des moteurs électriques actuels alimentés par des accumulateurs au plomb, et également celles du moteur humain auquel avait eu recours Fulton.

Ce qui paraît à peu près certain, c'est que cet ancêtre quasi préhistorique du submersible créé en 1896 par Laubeuf, fit en rade de Brest des expériences concluantes. Après avoir appareillé à la voile, il rentra sa mâture, s'immergea complètement, disparut sous les eaux et resta un certain temps, évoluant avec assez de précision pour pouvoir porter une charge de poudre contre la coque d'un bâtiment de surface mouillé dans le voisinage. Il faut avouer, si les rapports de l'époque sont dignes de foi, que ce n'est pas si mal

pour un débutant. Sans doute, pour qu'un pareil engin acquît toute la valeur militaire qu'il possède aujourd'hui, il était nécessaire que le moteur électrique, les accumulateurs, le périscope, la torpille automobile fussent inventés. Mais, au point de vue de la navigation sous-marine proprement dite, il faut reconnaître que Fulton avait su résoudre, du premier coup, toute une série de problèmes qui se sont posés plus tard à ses successeurs, et cela d'une manière très satisfaisante. Il semble même que ces solutions heureuses, trouvées il y a plus d'un siècle, ont été vite oubliées, puisqu'il a fallu cent ans plus tard réinventer, au prix de patientes recherches et de longs tâtonnements, tout ce que Fulton avait découvert.

C'est, sans doute, à ce fait que les premières tentatives de navigation sous-marine de Fulton ont passé à peu près complètement inaperçues, qu'il faut attribuer le peu d'intérêt que présentent les tentatives analogues que l'on trouve, isolées, dans les trois premiers quarts du dix-neuvième siècle. On rencontre des appareils bizarres, des conceptions d'esprits biscornus, rarement suivies de réalisation, qui aboutissent à des échecs, et la question ne fait aucun progrès. Un pas en avant a été fait cependant par deux Français, l'amiral Bourgois et l'ingénieur Charles Brun. C'est pour rappeler les efforts de ces deux travailleurs et leur esprit d'initiative que leur nom a été donné à deux des unités les plus récentes de notre flotte sous-marine ; tardif hommage à des patriotes méritants auxquels le succès immédiat a manqué, non par leur faute, mais parce qu'ils étaient venus trop tôt, à une époque où le moteur convenable de plongée n'existait pas encore.

Le sous-marin conçu d'après les idées de l'amiral Bourgois, et dont les plans ont été établis par l'ingénieur de la Marine Charles Brun, a été construit à Rochefort. Il a reçu le nom de *Plongeur*. Sa coque était si solidement rivée qu'elle existe encore, et on l'utilise aujourd'hui comme bateau-citerne, après avoir débarqué ses machines. Le *Plongeur*, le premier en date des sous-marins français, méritait une fin plus honorable ; et lorsqu'on voit dans les collections du South Kensington Museum, à Londres, avec quel soin pieux, quelle vénération attentive, les Anglais conservent la fameuse *Fusée* de Stephenson, on ne peut que regretter qu'un conservatoire des Arts et Métiers, en France, n'ait pas recueilli l'épave tout aussi vénérable du *Plongeur*.

Malheureusement, les navires ne vont pas sur terre, et surtout ils sont beaucoup plus encombrants que les locomotives. Charles Brun doit donc se consoler de ne pas voir son *Plongeur* voisiner avec le chariot à vapeur de Cugnot, et en devisant dans les Champs Élysées, parmi les prairies d'asphodèles, avec son collègue Fulton, s'il a appris que la marine, utilitaire, a transformé son sous-marin en une vulgaire citerne flottante, il doit se dire qu'après tout il n'y a pas de sot métier, et que même réduit à cet emploi inférieur de bâtiment de servitude, le *Plongeur* n'est pas tout à fait inutile, qu'il sert encore la patrie à l'heure du danger, dans la mesure où le lui permet son âge avancé.

Le trait caractéristique du *Plongeur*, en même temps que la cause de son échec, était l'emploi de l'air comprimé comme moteur de propulsion. L'idée avait du bon, puisque c'est celle qui a

permis, quelques années plus tard, à l'Anglais Whitehead de réaliser l'un des plus merveilleux et des plus terribles engins de la guerre moderne, la torpille automobile. Seulement, la torpille automobile est de petites dimensions et, de plus, les parcours qu'on lui demande ne dépassent guère quelques milliers de mètres ; le problème était donc relativement facile et, les événements l'ont amplement prouvé par la suite, le moteur à air comprimé constituait la solution la plus complète de ce problème limité. Il en était tout autrement pour le sous-marin, avec ses dimensions considérables, et surtout avec l'obligation de pouvoir franchir en plongée, non plus quelques centaines de mètres, mais des centaines de milles marins. Le moteur à air comprimé est très lourd, surtout à cause du poids énorme des réservoirs d'acier dans lesquels on doit accumuler la provision d'air comprimé qui l'alimente. Sur une torpille, la quantité d'air nécessaire pour un parcours dont la durée est de l'ordre d'une à deux minutes peut se loger dans une capacité de dimensions modérées ; encore est-il nécessaire, pour que ce réservoir ne soit pas trop lourd, de le confectionner avec les aciers les plus résistants que nous procure la métallurgie, et de faire travailler ce métal très près de la limite de sa résistance. Sur le *Plongeur,* le nombre de ces réservoirs était considérable ; ils occupaient la majeure partie du volume de la coque intérieure, et, malgré cela, l'approvisionnement d'air ne donnait au bâtiment qu'un rayon d'action assez faible, avec une vitesse minime. Il faut tenir compte, en effet, de ce que les moteurs à air comprimé ont fait, depuis l'époque où le *Plongeur* a été construit, des progrès notables qui ont beaucoup amélioré leur

rendement ; en particulier l'emploi du réchauffage préalable de cet air, tel qu'il se pratique sur les torpilles et sur les tramways, a diminué sensiblement leur consommation, a permis, en d'autres termes, de retirer d'un même volume d'air, à une même pression, un nombre beaucoup plus grand de chevaux-vapeur.

Mais le défaut le plus grave du *Plongeur* était son échappement. Après avoir travaillé dans les cylindres du moteur, l'air détendu se rendait dans un tuyau de large section qui l'évacuait au dehors. Malgré toutes les précautions prises pour diviser les bulles d'air, les mélanger aussi intimement que possible avec la masse liquide, cet échappement d'air produisait malgré tout un bouillonnement, un sillage très visible qui trahissait immédiatement la présence du sous-marin. Le même phénomène se produit d'ailleurs avec la torpille automobile ; on suit parfaitement, et même à grande distance, à l'œil nu, la marche d'une torpille par son sillage ; c'est même un moyen simple de vérifier la rectitude de sa trajectoire ; mais la vitesse de la torpille, 25 mètres par seconde, est telle qu'il n'y a pas grand inconvénient à ce qu'elle se laisse voir ; quand un navire l'a aperçue, il est généralement trop tard pour qu'il puisse l'éviter ; et les cas où un bâtiment a pu, par un coup de barre donné au bon moment, éviter l'engin meurtrier, sont excessivement rares. Toutes proportions gardées, avec la faible vitesse des bâtiments, et surtout la lenteur avec laquelle ils peuvent modifier la route suivie par leur énorme masse, il leur est pratiquement aussi difficile d'éviter une torpille qu'à un piéton de se garer d'une automobile de course ou d'un obus. Visible ou invisible, la torpille automobile

conserve donc toute son efficacité. Il en va tout autrement pour le sous-marin, qui marche à allure lente, et la plupart du temps à une vitesse sensiblement inférieure à celle du bâtiment qu'il attaque. C'est seulement dans les ouvrages d'imagination comme *Vingt mille lieues sous les mers*, de Jules Verne, que l'on voit un *Nautilus* foncer sur sa proie, avec la rapidité de l'éclair, et transpercer de son éperon la coque du navire ennemi. Dans la réalité les choses se passent d'une manière beaucoup moins dramatique. Non seulement les sous-marins réels ne disposent que d'une vitesse modérée, et qui ne dépasse pas 10 à 12 nœuds en plongée; mais encore ils ne font jamais usage de cette vitesse maxima pour l'attaque; ils ne s'en servent que pour la fuite, pour échapper à un danger pressant, en plongeant à une grande profondeur, où les remous de l'hélice demeurent invisibles. Dans l'attaque, la tactique du sous-marin rappelle plutôt celle du chasseur à l'affût : l'essentiel est de ne pas dépister le gibier. Le sous-marin s'avancera donc prudemment, sinon à fleur d'eau, du moins assez près de la surface, pour pouvoir à tout instant faire émerger l'extrémité de son périscope et rectifier sa route ; il s'abstiendra soigneusement de forcer sa vitesse, non pas seulement pour économiser sa réserve d'énergie électrique dont il pourra avoir besoin ensuite pour s'éloigner, mais surtout pour éviter que son périscope, dans les courts moments où il doit émerger, ne soulève une volute, un panache d'écume blanche qui le rendraient visible.

On conçoit, dans ces conditions, que le *Plongeur*, sensiblement plus lent que nos sous-marins modernes, et obligé, en outre, par l'absence de

périscope, de se tenir à fleur d'eau, était incapable de réussir une attaque ; les bouillonnements produits par l'échappement de l'air de son moteur auraient signalé de loin sa présence, et le bâtiment ennemi aurait eu tout le temps voulu pour fuir. Sa valeur militaire était donc à peu près nulle. Mais si Charles Brun n'a pas réussi à créer une arme véritable, au point de vue technique ses efforts n'ont pas été perdus. Il a montré la possibilité de faire naviguer entre deux eaux, avec précision, un sous-marin de fort tonnage, et bien des dispositifs de détail du *Plongeur* ont pu être utilisés ultérieurement.

Un de ces dispositifs doit retenir l'attention ; c'est celui du canot de sauvetage qui avait été placé à la partie supérieure du *Plongeur,* et solidement encastré dans une cavité pratiquée sur le dos du sous-marin.

Ce canot, en tôle, était naturellement complètement ponté. On pouvait y pénétrer, en plongée, au moyen d'un panneau à double fermeture, percé à la fois dans la coque du sous-marin et dans celle du canot. En cas de sinistre, c'est-à-dire si pour une cause quelconque le *Plongeur* se trouvait au fond de la mer, incapable de remonter à la surface, l'équipage se rendait dans le canot de sauvetage, et après avoir refermé soigneusement le capot d'accès, en desserrant les écrous qui reliaient le canot au sous-marin, on le libérait. Le canot, moins lourd que le volume d'eau qu'il déplaçait, remontait aussitôt, et une fois à la surface, il suffisait d'ouvrir les écoutilles du pont.

C'est, croyons-nous, la première réalisation d'un engin de sauvetage pour le personnel des sous-marins. Et il est intéressant de noter que près d'un

demi-siècle plus tard, lorsque l'accident si retentissant du *Pluviôse,* coulé au large de Calais par la malle de Douvres, vint rappeler la nécessité de pourvoir au sauvetage de nos vaillants marins, plusieurs inventeurs sont venus proposer à la marine française des canots détachables, plus ou moins différents par les formes et par les accessoires, mais tous reposant sur les principes que Charles Brun avait appliqués cinquante ans auparavant : *nil novi sub sole.*

L'insuccès du *Plongeur* était dû à son moteur. Pour qu'un progrès sérieux fût possible en navigation sous-marine, il fallait posséder une source de puissance motrice qui ne consommât pas d'air atmosphérique et qui ne produisît pas de dégagements gazeux, impossibles à évacuer au dehors sans trahir sa présence. Le moteur remplissant ces conditions n'a été découvert que plus tard, lorsque Gramme, par l'invention de son anneau, a fait de la dynamo électrique une machine pratique. En même temps les perfectionnements apportés à la construction des accumulateurs au plomb donnaient enfin un moyen d'accumuler cette énergie électrique, au prix d'un poids encore considérable, mais néanmoins dans des conditions acceptables.

C'est pourquoi les sous-marins n'ont vraiment pris leur essor que beaucoup plus tard, lorsque l'état de la science et de l'industrie eut enfin permis de réaliser un bon moteur de plongée.

Bien que la dynamo électrique alimentée par des accumulateurs soit loin de constituer le moteur rêvé, à cause surtout de son poids et de son encombrement, elle possède cependant plusieurs avantages précieux, qui la rendent très supérieure à tous les autres appareils employés antérieurement,

et lui ont permis de soutenir victorieusement la lutte, jusqu'à ce jour, avec les autres engins nouveaux que les récentes découvertes ont mis à notre disposition.

Nous avons déjà indiqué que l'ensemble, accumulateurs et moteur électrique, fonctionnait, en débitant de la puissance motrice, sans consommer d'air ni produire de dégagements gazeux appréciables ; c'est la condition essentielle qui permet au moteur d'être utilisé en plongée. Mais, en outre, alors que la plupart des autres appareils producteurs de force motrice changent de poids pendant leur fonctionnement (charbon brûlé dans une chaudière par exemple), l'accumulateur électrique reste invariable ; il ne pèse pas plus quand il est chargé à refus qu'à la fin d'une longue décharge. On est ainsi dispensé d'avoir à faire des mouvements d'eau compliqués dans les ballasts intérieurs du sous-marin, pour compenser les variations de poids du moteur. C'est une grave sujétion de moins. Le moteur électrique fonctionne presque sans dégager de chaleur ; la température des accumulateurs varie fort peu pendant la décharge. Ceci est particulièrement important en plongée, puisque l'air du sous-marin ne se renouvelle pas et qu'on n'a pas la ressource, pour éviter une élévation de température intolérable, d'employer une ventilation énergique. Le moteur électrique est très souple ; on le met en marche en tournant la manette d'un commutateur ou le volant d'un controller ; il part en avant ou en arrière instantanément, on peut faire varier son allure à tout moment, et passer en quelques secondes de la vitesse la plus ralentie à la toute-puissance. Enfin c'est de tous les moteurs connus le plus silencieux : pas de soufflements sonores, de

halètements comme dans les appareils à vapeur, pas de chocs bruyants d'articulations comme dans les machines alternatives ; à peine un léger crissement produit par le frottement des balais de la dynamo sur les touches de cuivre du collecteur, et encore ce murmure léger, car ce n'est même pas un bruit, ne s'entend-il que dans le compartiment même du moteur et ne se perçoit absolument pas au dehors.

Cette absence de bruit est précieuse, car elle permet au sous-marin de s'approcher assez près des côtes ennemies, sans que les microphones des postes écouteurs puissent déceler sa présence.

Aussi, dès que l'on fut en possession d'un bon moteur électrique et d'accumulateurs suffisants, les progrès de la navigation sous-marine, jusqu'alors lents et irréguliers, s'accentuèrent, et en peu d'années presque toutes les grandes puissances maritimes réussirent à mettre au point de petits bâtiments doués déjà d'une valeur militaire sérieuse, tout au moins pour la défensive.

De même qu'en photographie, en automobile, en aviation, la France a été l'initiatrice des progrès vraiment féconds, de même, en navigation sous-marine, c'est elle qui a ouvert la route avec le *Gymnote,* bâtiment d'essai, et, quelques années après, avec le *Gustave-Zédé* [1].

Le *Gymnote,* dont les plans ont été établis par un ingénieur des constructions navales éminent, Gustave Zédé, n'était pas une arme de guerre, mais seulement un sous-marin d'expériences, destiné à

(1) Il ne faut pas confondre ce *Gustave-Zédé,* premier du nom, qui fut construit en 1890-1892, avec le grand submersible de 800 tonneaux qui a reçu le même nom et est entré en service en 1914.

élucider et à résoudre les multiples problèmes théoriques et pratiques que pose la navigation sous-marine.

La marine, en ordonnant sa construction, n'a pas voulu renouveler l'erreur du *Plongeur* de Brun; elle s'est montrée prudente : le *Gymnote* ne déplaçait qu'une trentaine de tonneaux. Il était pourvu uniquement d'un moteur électrique, alimenté par une batterie d'accumulateurs; il ne possédait pas de moteurs de surface. C'était, suivant l'expression consacrée, un sous-marin purement électrique. Comme les bâtiments antérieurs, il était muni de caisses intérieures ou ballasts que l'on remplissait d'eau pour alourdir le bâtiment et le faire plonger. Une fois immergé, il se dirigeait en profondeur, il réglait son immersion au moyen de plans horizontaux orientables à la main, ou gouvernails de plongée. Les essais très nombreux effectués sur ce petit bâtiment, en variant précisément la disposition de ces gouvernails de plongée, en les plaçant tantôt près de l'avant, tantôt près de l'arrière, tantôt au milieu; en ajoutant ou en supprimant des plans fixes ou ailerons, analogues aux nageoires des poissons, ont permis de résoudre très complètement tous les problèmes qui constituent la théorie dynamique du sous-marin en plongée. Ces problèmes sont, en effet, d'une nature si complexe, que le calcul seul ne pouvait pas en donner une solution satisfaisante, et seule l'expérience directe pouvait les élucider entièrement. Ces essais du *Gymnote*, couronnés d'un plein succès, ont fourni à la marine française un nombre considérable de données à la fois théoriques et pratiques qu'elle pouvait utiliser désormais avec fruit. Le moment était venu pour nous d'aborder, sans courir les

mêmes risques qu'avec le *Plongeur,* la construction d'un grand sous-marin rapide, pourvu de tubes lance-torpilles, d'un véritable instrument de guerre.

C'est l'ingénieur du Génie maritime Romazzotti, gendre de Gustave Zédé, qui fut chargé de l'établissement des plans et de la construction de notre premier sous-marin de guerre. Le nom de Gustave Zédé, qui venait de mourir, fut donné à ce bâtiment, pour reconnaître les services éminents que cet ingénieur avait rendus à la navigation sous-marine. Le *Gustave-Zédé* avait à peu près la forme d'un cigare très allongé, puisque, pour une longueur totale de 48 mètres, il avait à peine 3^{m} 30 de diamètre et ne déplaçait guère plus de 250 tonneaux. Malgré cette grande longueur, il évoluait parfaitement en profondeur, ainsi que le firent constater ses premiers essais effectués en 1896 et 1897. C'était, comme le *Gymnote,* un sous-marin purement électrique ; mais ses plus grandes dimensions avaient permis de le doter de moteurs électriques beaucoup plus puissants ; aussi sa vitesse était-elle plus considérable que celle du *Gymnote ;* le *Gustave-Zédé* a dépassé en effet 9 nœuds en plongée, ce qui était pour l'époque un résultat superbe, un record si l'on veut, qui ne fut battu que dix ans plus tard environ. Il était armé d'un tube lance-torpille placé à l'extrême avant. Son défaut principal résidait dans l'emploi exclusif du moteur électrique : le *Gustave-Zédé* était vite à bout de sa provision d'électricité, et il fallait qu'il retournât à sa base de ravitaillement, à la station de chargement, pour faire recharger ses accumulateurs. Son rayon d'action se trouvait ainsi limité à peu près à une centaine de milles marins. C'était déjà

très suffisant pour faire de ce sous-marin une arme défensive excellente. On se préoccupa d'ailleurs, à cette époque, des moyens de remédier à cette insuffisance de distance franchissable. Des expériences furent faites, notamment aux îles d'Hyères, dans lesquelles le *Gustave-Zédé* était remorqué en surface par un bâtiment à vapeur jusque dans la zone où il devait opérer; on arrivait ainsi, par ce procédé indirect, à amener le sous-marin très loin de sa base, sans avoir entamé la réserve d'énergie électrique de ses accumulateurs.

C'est à peu près à la même époque que l'on songea à faire accompagner les sous-marins par un grand bâtiment de surface spécialement aménagé pour les ravitailler, en leur fournissant le courant électrique nécessaire au rechargement des accumulateurs, les remorquer en cas de besoin, les réparer, et même offrir un logement confortable à une partie de l'équipage pendant les croisières les plus longues. Cette conception allait cependant être bientôt abandonnée, parce que la création des sous-marins autonomes, c'est-à-dire capables de se recharger eux-mêmes, et par suite pouvant tenir la mer pendant des semaines sans aucun secours du dehors, avait enlevé tout intérêt à la solution par navire ravitailleur ou mère Gigogne de sous-marins.

Quelles que soient d'ailleurs les insuffisances, maintenant reconnues, du *Gustave-Zédé,* il n'en subsiste pas moins qu'il a été le premier sous-marin militaire, et, à l'époque où il a été terminé, la France possédait, grâce à lui, une supériorité incontestable sur les autres marines.

Les sous-marins qui suivirent en France dérivaient naturellement du *Gustave-Zédé;* le *Morse,* le *Français,* l'*Algérien,* le *Gnome,* le *Farfadet,* le

Lutin, le *Korrigan,* étaient également des bâtiments en forme de cigare très allongé, avec une faible flottabilité, c'est-à-dire s'élevant très peu au-dessus de la surface de la mer en position lège. Les progrès réalisés par la technique furent utilisés surtout pour réduire les dimensions du *Zédé* qui semblaient un peu considérables. Beaucoup d'améliorations de détail furent apportées à ces bâtiments. L'invention du périscope, qui est à peu près de cette époque, eut cependant une importance considérable : cet appareil, qui permettait au sous-marin de voir sans émerger, sans se faire voir, augmentait immédiatement la valeur de l'arme nouvelle.

Mais, en somme, il n'y avait pas dans ces divers sous-marins purement électriques une idée vraiment neuve. C'est à ce moment que l'ingénieur Laubeuf, par la création du submersible, dont le premier modèle fut le fameux *Narval,* révolutionna pour ainsi dire la construction sous-marine.

Lorsque le ministre de la Marine d'alors, M. Lockroy, institua le concours d'où est sorti le *Narval,* l'idée du submersible était pour ainsi dire dans l'air. Les essais des premiers sous-marins purement électriques et à faible flottabilité avaient vite révélé les défauts de ces bâtiments : insuffisance de rayon d'action, qualités nautiques insuffisantes, c'est-à-dire que ces sous-marins tenaient mal la mer en surface. Ils restaient inertes comme des bouées dans la mer agitée et par gros temps ils devenaient intenables ; le commandant ne pouvait même plus ouvrir le capot supérieur de son kiosque et, réduit à la seule vision périscopique, il ne voyait pas grand'chose au milieu des paquets de mer et des embruns.

De ces critiques bien connues, à formuler le programme des qualités que devrait avoir le sous-marin pour être une arme vraiment efficace, il n'y avait qu'un pas. Ce pas fut franchi par l'amiral Baudry Lacantinerie, un officier dont la carrière n'a pas été particulièrement brillante, mais qui, doué d'un sens marin très aigu, a eu, dans une étude consacrée à la navigation sous-marine, comme un éclair de prescience. Dans le travail auquel nous faisons allusion, l'amiral Baudry Lacantinerie pose nettement, en quelques lignes, le problème du submersible.

« Un sous-marin ne sera pas perpétuellement en plongée ; pour se rendre au loin, attaquer les rades ennemies, il devra pouvoir naviguer en surface. » Et l'amiral précise : « Il devra tenir la mer aussi bien que nos torpilleurs et avoir la même distance franchissable. »

C'est à l'ingénieur Laubeuf, avons-nous dit, que revient le mérite d'avoir résolu le premier ce problème difficile, par le projet du submersible *Narval,* qui en fournissait une solution tout à fait originale. Dans cette création du submersible, deux idées essentielles dominent : l'une relative aux moteurs, l'autre à la coque, les deux étant d'ailleurs étroitement connexes.

Les accumulateurs électriques étant trop lourds pour donner au bâtiment le rayon d'action voulu, il fallait recourir, pour la propulsion en surface, à un moteur léger et économique. Laubeuf mit à la suite, sur l'arbre porte-hélice, un moteur électrique et un moteur à vapeur.

Le moteur à vapeur, du type léger de torpilleurs, était alimenté par une chaudière chauffée au pétrole.

Grâce à l'emploi du combustible liquide, on pouvait mettre bas les feux instantanément, par la simple manœuvre d'un robinet, et plonger sans retard.

Du coup, le *Narval,* malgré son très faible déplacement (un peu plus d'une centaine de tonneaux en surface) était doté d'un rayon d'action dix fois plus grand que celui du *Gustave-Zédé.*

Mais, en outre, le moteur à vapeur pouvait être employé en surface pour faire tourner le moteur électrique, qui fonctionnait alors en dynamo génératrice d'électricité, en vertu du principe de la réversibilité des moteurs électriques. Le submersible pouvait donc recharger lui-même ses accumulateurs; il était ainsi affranchi de la nécessité de retourner à sa base de chargement, ou de la tutelle du navire ravitailleur; en d'autres termes, il était devenu autonome : avantage précieux qui faisait plus que doubler la valeur militaire de l'engin.

L'idée coque de Laubeuf n'était pas moins séduisante. Le but à atteindre était de doter le sous-marin des mêmes qualités nautiques que les bâtiments de surface, ou tout au moins de qualités approchantes. Jusqu'alors on avait construit uniquement les coques de sous-marins en forme de cigare, c'est-à-dire à sections circulaires, le cercle étant la courbe qui permet le plus aisément de résister à l'écrasement sous l'effet des pressions hydrostatiques de l'eau à grande profondeur. Mais ces formes rondes, facilement balayées par les lames, étaient les plus mauvaises possibles pour la tenue à la mer; elles n'étaient pas favorables non plus à la vitesse en surface. Bref, les sous-marins construits jusqu'à ce jour étaient des instruments sur lesquels on avait tout sacrifié à la plongée, et

qui étaient par suite les plus déplorables bâtiments de surface qu'on puisse imaginer.

Pour qu'un sous-marin devienne capable de tenir la mer en surface, il ne suffisait pas d'augmenter sa flottabilité, c'est-à-dire le volume de coque qui émerge, il était indispensable de lui donner des formes de bâtiments de surface, avant droit en coin, arrière traînant. Mais si, brutalement, on avait appliqué ce tracé à une coque de sous-marin, le bâtiment n'aurait pas manqué de s'écraser dès qu'il aurait plongé à plus de 15 ou 20 mètres; car ces formes de bâtiments de surface, très éloignées de la forme circulaire, résistent aussi mal que possible à la pression extérieure. Comment concilier ces deux nécessités opposées? par l'emploi de la double coque. C'est l'inspiration de génie qu'a eue Laubeuf. Il a pris une coque de torpilleur ordinaire [1] et à l'intérieur de cette coque il en a placé une seconde, très résistante, à sections circulaires, enfin une coque de sous-marin. Et cette solution résolvait du même coup une autre face du problème, celle des water-ballasts. On sait que le volume de ces ballasts, qu'on remplit d'eau pour la plongée, est, en vertu du principe d'Archimède, exactement égal au volume de la coque émergeant en surface, c'est-à-dire à la flottabilité. Comme il s'agissait de donner au sous-marin une grande flottabilité, il était nécessaire de trouver la place de volumineux ballasts; l'intervalle compris entre la coque intérieure et la coque extérieure fournissait précisément les ballasts voulus, sans créer aucun encombrement à l'intérieur du bâtiment lui-même.

(1) Il a même eu soin, parmi les torpilleurs, de choisir ceux dont les lignes dues au grand constructeur havrais, Augustin Normand, étaient les plus heureuses.

Tel était le principe du nouveau bâtiment qui reçut le nom de *Narval,* et dont l'apparition ouvrait une ère nouvelle dans l'évolution de la construction sous-marine. Pour le réaliser, bien des problèmes accessoires durent être résolus : notamment le remplissage rapide des ballasts, dont dépendait la rapidité avec laquelle le bâtiment pouvait prendre la plongée et disparaître, se présentait dans des conditions particulièrement ardues, en raison du grand volume d'eau. Sur le *Narval,* Laubeuf admit une durée de vingt minutes, qui paraît tout à fait excessive à l'heure actuelle, où le temps qui s'écoule, entre l'ordre de plongée du bâtiment et sa disparition sous les flots, se compte non plus en minutes, mais en secondes.

Disons tout de suite, d'ailleurs, qu'à l'essai, la durée de remplissage des ballasts fut bien inférieure à un quart d'heure, et les progrès réalisés, par la suite, ont été tels qu'on est arrivé à la réduire successivement à cinq minutes, puis à trois et même à moins de deux minutes, bien que le volume des ballasts à remplir soit devenu plus de quatre fois plus grand que celui du *Narval.*

Un simple chiffre montrera, mieux que toute explication, l'importance de ces mouvements d'eau, sur les grands submersibles. Sur des bâtiments des derniers types, la capacité des ballasts dépasse 400.000 litres, et on arrive à les remplir complètement en deux minutes, ce qui fait un torrent d'eau, s'introduisant dans les flancs du navire à raison de 200.000 litres par minute, ou près de 3.400 litres à la seconde : c'est le débit d'une petite rivière. Si l'on additionne, d'ailleurs, les sections de toutes les vannes de remplissage des ballasts, on trouve une section totale d'orifice

de plusieurs mètres carrés. C'est une vraie trombe d'eau, divisée en plusieurs canaux, qui se précipite entre les deux coques.

Pour en revenir au *Narval,* ce premier submersible avait des dimensions modestes : il déplaçait à peu près 106 tonneaux en surface seulement et 200 en plongée, et n'avait que 36 mètres de longueur. Il portait, malgré sa petitesse, quatre torpilles prêtes à être lancées, ce qui constituait, par comparaison avec les sous-marins contemporains, un armement formidable.

Il était mû en surface par une machine à vapeur alimentée par une chaudière à pétrole ; il filait ainsi 10 nœuds.

En plongée, sa vitesse ne dépassait pas sensiblement 6 nœuds.

Dès les premiers essais du *Narval,* les qualités du nouveau type de bâtiment s'affirmèrent ; les marins notamment, qui n'aimaient pas beaucoup les sous-marins construits jusqu'alors et leur reprochaient, tout bas, d'être des « mécaniques d'ingénieurs », s'accordèrent pour reconnaître que le *Narval* faisait une heureuse exception, qu'il possédait ce « je ne sais quoi » indéfinissable, comme on chante dans la *Mascotte,* qui fait qu'un bateau est marin.

Le *Narval* allait d'ailleurs montrer ses qualités dans des épreuves décisives. Dès que le bâtiment fut parfaitement au point et son armement terminé, on décida de l'envoyer de Cherbourg, où il avait été construit, à Saint-Malo, d'abord, et retour, et ensuite à Brest.

Pour cette expédition mémorable, qui causa en son temps dans le monde maritime la même sensation, qui excita la même curiosité que le pre-

mier vol d'aéroplane hors d'un aérodrome, de ville à ville, on prit la précaution de faire convoyer le *Narval* par un torpilleur de haute mer. Les parages à l'ouest du Cotentin sont en effet semés d'îles et de récifs nombreux, sur lesquels la mer se brise avec furie; les courants dus à la marée sont particulièrement violents et rendent la navigation difficile. Le *Narval* partit, en compagnie de son convoyeur, dans une saison où la Manche est généralement mauvaise. Peu après le départ, le temps se gâta; la houle se fit plus creuse; ce n'était pas à proprement parler une tempête, les marins n'emploient guère ce mot-là, mais c'était franchement du mauvais temps, c'était une mer très dure selon leur appréciation. Le contre-torpilleur, ballotté sur les lames, embarquait des paquets d'eau, et, plein de commisération pour le frère inférieur, le *Narval*, lui demande s'il ne désire pas virer de bord et rentrer au port. « Tout va bien à bord, je continue ma route », tel fut le message que le *Narval* signala en réponse à la question posée. Chose remarquable, malgré ses petites dimensions, le *Narval* dansait beaucoup moins sur la mer que le contre-torpilleur. Étant hermétiquement clos, à part le panneau du ventilateur et celui de la cheminée, il supportait aisément les paquets de mer; bref, contrairement à ce que l'on aurait pu penser, le petit submersible était beaucoup moins gêné par cette forte mer que le gros torpilleur. Cette constatation, bien des fois renouvelée depuis, fut à cette époque une vraie révélation. Le *Narval* arriva ainsi sans encombre à Saint-Malo, où sa venue fut fêtée comme elle le méritait.

La fierté de l'exploit accompli, l'amour-propre aidant, l'équipage du submersible, en débarquant,

se trouvait beaucoup plus dispos, moins fatigué que les hommes du contre-torpilleur. Ceux-ci avouaient, en effet, dans leur rude langage, qu'ils avaient « salement bourlingué durant la traversée ».

Enhardi par le succès de cette première traversée, le *Narval,* après son retour à Cherbourg, fut envoyé à Brest, voyage beaucoup plus long. La navigation se fit rigoureusement en tenue de combat, c'est-à-dire avec toutes les torpilles à bord. De plus, on avait fixé à cette mission un programme militaire : arrivé devant le goulet de Brest, le *Narval* devait plonger et franchir en plongée la passe, absolument comme s'il s'était agi de la forcer en temps de guerre; enfin, une fois entré dans la rade de Brest, il devait lancer ses torpilles, pour vérifier si les chocs de la mer pendant le voyage n'avaient faussé aucun mécanisme et ne les avaient pas déréglées. Ce programme fut rempli en tous points par le *Narval.*

Cette dernière épreuve, qu'aucun des sous-marins de l'époque n'aurait pu même tenter, démontrait la haute valeur du nouveau type de bâtiment créé par Laubeuf.

A ce moment la France, qui avait toujours tenu la tête dans la construction des sous-marins, possédait une avance considérable sur toutes les autres puissances maritimes. Pour maintenir cette avance et l'accroître encore, il lui suffisait de consacrer avec méthode des crédits suffisants à la construction des sous-marins, tout en gardant jalousement le secret des dispositions intérieures de ces bâtiments. La seconde condition était peut-être, plus encore que la première, difficile à réaliser, et l'on verra par la suite comment des fuites ont pu se produire et ont permis à cette nation,

que nous avons le droit d'appeler notre ennemie héréditaire, de nous dérober le fruit des travaux de nos ingénieurs et de nos officiers.

Les sous-marins mis en chantier en France après le *Narval* ont été, pour la plupart, des submersibles, c'est-à-dire des bâtiments dérivés du *Narval,* et dont les dimensions étaient progressivement augmentées, de manière à accroître, soit leur armement, soit leur vitesse, soit leur rayon d'action, bref leur valeur militaire. Ce sont les quatre submersibles *Sirène, Triton, Silure*, *Espadon* de 150 tonneaux, puis l'*Aigrette* et la *Cigogne* de 175 tonneaux.

Avec ces deux derniers bâtiments apparaît un nouveau progrès important, la substitution de moteurs à pétrole lourd, du système Diesel, aux appareils à vapeur. Ce changement constituait une amélioration sérieuse à plusieurs égards : accroissement du rayon d'action, grâce à l'économie du combustible ; diminution de la visibilité du sous-marin en surface par suite de la suppression de la fumée ; possibilité de remise en marche presque instantanée après la plongée, alors que les chaudières demandaient plusieurs quarts d'heure pour être remises en pression.

Pendant cette période, la France a continué à construire, en même temps que ces submersibles, un certain nombre de sous-marins ; mais ces sous-marins, à leur tour, avaient dû se modifier afin d'acquérir au moins une partie des avantages des submersibles.

Les *Naïade*, petits bâtiments de 70 tonneaux, les sous-marins *X, Y, Z,* les sous-marins type *Emeraude,* ont tous été pourvus d'un double moteur, électrique en plongée, à pétrole en surface,

ce qui leur donnait, à défaut des qualités nautiques des submersibles, du moins la même distance franchissable. Néanmoins, cette dualité de types n'était pas avantageuse ; vers 1906, on se rendit compte de la nécessité d'unifier la construction en faisant un choix définitif. On procéda alors à des expériences comparatives entre deux bâtiments appartenant chacun à l'une des deux catégories : l'*Aigrette* pour les submersibles et le *Z* pour les sous-marins. Ces expériences furent très nettement en faveur du submersible ; elles démontrèrent victorieusement que le submersible, malgré le volume énorme de ses ballasts, pouvait les remplir d'eau assez rapidement pour plonger et disparaître aussi vite que le sous-marin à faible flottabilité ; et d'autre part, si, en plongée, le submersible n'était inférieur en rien au sous-marin, en surface il avait une supériorité très marquée qui le rendait seul apte aux longues croisières.

La question si longtemps controversée était enfin nettement tranchée. A partir de ce moment on ne mettra plus en chantier, en France, de sous-marins proprement dits [1], et l'on entreprend résolument la construction de submersibles en série. Ce sont les dix-huit submersibles type *Pluviôse,* à vapeur, suivis bientôt des seize submersibles, type *Brumaire,* identiques aux précédents à l'exception des moteurs de surface qui étaient à pétrole. Cette série de trente-quatre bâtiments à peu près homogènes était encore due aux plans de l'ingénieur Laubeuf. Ce sont des bâtiments robustes, de 400 tonneaux en surface, environ, à

(1) A l'exception d'un bâtiment d'expériences, le *Mariotte,* qui s'est perdu dans les Dardanelles.

deux hélices. Ils ont un peu plus de 50 mètres de longueur, un très puissant armement de sept torpilles, une vitesse en surface de 12 à 13 nœuds, et, en plongée, ils filent 8 nœuds ; leur équipage, officiers compris, est de 26 hommes.

Si l'achèvement des derniers submersibles de cette série n'avait pas été retardé par des difficultés de mise au point des moteurs à pétrole, la France aurait eu, il y a quelques années, une superbe flottille sous-marine, lui donnant une supériorité très marquée sur toutes les autres puissances. Cette supériorité, dans les années qui ont suivi 1906, a du reste été incontestée, et il est évident que ce sont les brillants résultats obtenus par la France, entrant la première dans la voie de l'utilisation pratique et à grande échelle des sous-marins, qui ont attiré l'attention des autres pays, sur l'importance de la nouvelle arme et stimulé leurs efforts. La France, en cette matière comme en bien d'autres, aura été l'initiatrice.

C'est en effet seulement à partir de 1908 ou 1910 que l'on voit, dans les budgets navals de l'Angleterre et de l'Allemagne, apparaître des crédits notables à la rubrique : construction de sous-marins ; et bientôt ces sommes vont s'enfler progressivement.

Mais l'effet de cet accroissement des dépenses consacrées aux sous-marins ne s'est pas fait sentir immédiatement. Il a fallu plusieurs années à l'étranger pour rattraper l'avance que nous avions prise. La question du matériel, en effet, n'est pas la seule à envisager; sans doute, une nation dont l'industrie est très développée peut arriver à construire de toutes pièces un grand sous-marin en moins d'un an; mais il faut beaucoup plus de

temps pour former de bons équipages et plus encore pour obtenir de bons commandants de sous-marins.

Ce qui exige le plus de temps, enfin, c'est d'apprendre à se servir convenablement de la nouvelle arme, d'établir un corps de doctrine pour l'utilisation du sous-marin; cette pratique nouvelle ne s'improvise pas dans les bureaux d'une académie navale : elle ne peut être que le fruit des manœuvres, des exercices répétés.

Voilà ce que la France avait acquis patiemment, d'abord, avec les petits submersibles *Narval, Sirène, Triton, Silure, Espadon, Aigrette, Cigogne,* groupés dans le port de Cherbourg et soumis à un entraînement intensif, prenant la mer chaque jour, puis avec les premiers submersibles type *Pluviôse*. Et ce que la marine française avait acquis ainsi d'expérience pratique, on ne pouvait pas le lui dérober comme le secret de la construction d'une coque ou d'une machine.

Pour l'obtenir, il fallait que l'étranger construisît d'abord des sous-marins en nombre suffisant pour pouvoir les faire manœuvrer par groupes et refît toutes les écoles que nous avions faites. C'est pour cela que notre avance a pu être conservée pendant quelques années.

Dans les années qui ont suivi, la marine française, tout en construisant des submersibles identiques en série, les dix sous-marins type *Clorinde* notamment, ne se berçait pas de l'illusion qu'elle possédait le type définitif du bâtiment sous-marin; elle laissait la porte ouverte à de nouveaux progrès, en instituant des concours pour l'établissement des plans de bâtiments hors série qui étaient construits en petit nombre, dans un but d'expé-

rience. C'est de ces concours que sont sortis l'*Archimède,* de 580 tonneaux en surface et 800 en plongée, qui a filé plus de 15 nœuds en surface, le *Mariotte* et l'*Amiral-Bourgois*, variantes à moteurs à pétrole du programme de l'*Archimède;* le *Charles-Brun,* bâtiment très spécial, qui n'employait pas l'électricité en plongée, mais utilisait une chaudière accumulatrice inventée par l'ingénieur général Maurice.

Plus récemment, on a essayé la construction de sous-marins beaucoup plus grands, comme le *Gustave-Zédé,* la *Néréide,* le *Dupuy-de-Lôme* et le *Sané,* qui dépassent 800 tonneaux de déplacement en surface.

L'accroissement de tonnage permettait à la fois de renforcer l'armement en torpilles, d'augmenter l'approvisionnement de combustible, et par suite le rayon d'action, et en même temps de doter ces bâtiments d'aménagements relativement confortables, bien nécessaires à l'équipage, puisque le sous-marin devait tenir la mer pendant plusieurs semaines. Sur ces nouveaux bâtiments, chaque officier a sa chambre, fort exiguë à la vérité, mais où l'on a trouvé néanmoins la place de loger, en plus de la couchette, une armoire à vêtements, un lavabo, type de la Compagnie des Wagons-Lits, et même une minuscule table-bureau surmontée d'une étagère à livres décorée pompeusement du nom de bibliothèque de bord. Il y a une cuisine, munie de fourneaux électriques, qui permettent de préparer des repas chauds même pendant les plongées de longue durée. Il y a un carré, ou salle à manger pour les officiers; les simples matelots n'ont qu'un poste aménagé de couchettes et de hamacs, avec des lavabos et des tables rabattables.

En même temps, les progrès réalisés dans la construction des appareils moteurs, tant électriques qu'à pétrole, rendaient possibles des vitesses plus considérables et permettaient d'envisager des parcours sous l'eau beaucoup plus longs. Les gros sous-marins ont reçu le nom de sous-marins de haute mer. Les plus rapides d'entre eux ont filé en surface jusqu'à 19 nœuds; en plongée, ils ont dépassé 11 nœuds. A petite vitesse, sous l'eau, ils peuvent marcher plus de quarante-huit heures sans qu'il soit besoin de recharger leurs batteries d'accumulateurs, et parcourir 300 à 400 kilomètres, sans être obligés de remonter à la surface. Ils portent jusqu'à dix appareils lance-torpilles. Tels sont, en France, les types *Dupuy-de-Lôme, Lagrange, Joëssel,* dont les derniers sont encore en construction au moment où nous mettons sous presse.

Sans doute, les années qui suivront verront-elles l'apparition de sous-marins plus grands encore, plus rapides et plus puissants; mais dès maintenant on peut considérer que les sous-marins des types les plus récents ont atteint un haut degré de perfection et constituent une arme de la plus grande valeur.

Ces bâtiments, grâce à leur déplacement de 800 à 900 tonneaux et aussi à leurs formes bien étudiées, tiennent remarquablement bien la mer; ils peuvent affronter tous les temps et méritent bien leur nom de sous-marins de haute mer. Ils emportent des vivres et du combustible pour plus de trente jours; les installations intérieures pour le personnel, leur habitabilité, pour employer l'expression technique consacrée, est largement suffisante pour que l'équipage supporte ces longues croisières sans éprouver une fatigue excessive, en tout cas sans dépasser

les limites de l'endurance et des forces humaines. Ils seraient tous capables de traverser l'Atlantique, et plusieurs d'entre eux l'ont fait effectivement. Malgré ces grandes dimensions, on a su conserver à ces sous-marins toutes les qualités des plus petits : souplesse de manœuvre et rapidité de prise de la plongée.

A l'étranger, l'évolution de la construction sous-marine a été la même qu'en France ; sauf les petites nations qui étaient obligées, par la modicité de leur budget, de se contenter de petits sous-marins défensifs, toutes les autres puissances, en ces dernières années, se sont orientées vers la construction du gros sous-marin, plus ou moins rapide, mais toujours très robuste, très marin, fortement armé et doué d'un rayon d'action considérable.

En Allemagne et en Italie, on a réalisé ce programme par les mêmes moyens que nous, c'est-à-dire en construisant des submersibles, bâtiments à forte flottabilité et à double coque, qui dérivent tous plus ou moins directement de leur ancêtre commun le *Narval*. Ailleurs, en Angleterre notamment et aux États-Unis, on est resté, à quelques exceptions près, fidèle au type sous-marin proprement dit (1), mais c'est le même programme qu'on a cherché à réaliser par des moyens différents. Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, pour rendre les sous-marins proprement dits capables de remplir le même programme que les submersibles, on a dû les modifier assez profondément. Pour donner de la tenue à la mer à ces bâtiments, on a dû relever

(1) Les Américains ont, en effet, un type de submersible particulier, le type *Symon-Lake,* et les Anglais ont fait dans ces dernières années des achats de submersibles *Laubeuf* à MM. Schneider et Cie et de submersibles *Laurenti* à la Société Fiat San Giorgio.

sensiblement le taux de leur flottabilité qui est passé de 5 ou 7 °/₀ à 12 ou 13 °/₀ et même quelquefois à 15 °/₀ [1]. Le sous-marin s'est donc rapproché sensiblement du submersible. Arrivé à ce point, la barrière qui les séparait encore, nous voulons dire le système de construction de la coque, ne pouvait pas résister bien longtemps. En effet, la grande Société l' « Electric Boat Cy », qui exploite les brevets Holland et n'avait jusqu'alors construit que des sous-marins proprement dits, vient dans son type le plus récent d'adopter le principe des ballasts extérieurs et la double coque. Ceci montre bien que la fusion est près de se faire et que, à l'avenir, sous-marins et submersibles convergeront vers un type unique.

(1) On appelle taux ou coefficient de flottabilité d'un navire sous-marin le rapport du volume émergeant en flottaison lège au volume total en plongée. Ce rapport varie, sur les submersibles, de 20 à 35 °/₀.

CHAPITRE II

LES SOUS-MARINS DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES

Avant de passer en revue les sous-marins que possèdent les différentes puissances belligérantes, il est nécessaire de donner quelques brèves indications sur les principaux éléments qui constituent la valeur militaire de ces divers petits bâtiments.

Les sous-marins naviguant tantôt en surface, tantôt en plongée [1], ces éléments ou caractéristiques seront doubles. Ainsi, un sous-marin filera, par exemple, 16 nœuds au maximum en surface (le nœud, unité de vitesse en marine, vaut 1.852 mètres à l'heure); c'est la vitesse que lui impriment ses moteurs de surface lorsqu'ils développent toute leur puissance. En plongée, ce sont les moteurs électriques, généralement un peu moins puissants que les moteurs de surface, qui sont en action. De ce fait, la vitesse sera déjà un peu moindre; mais, en outre, en plongée, la coque complètement im-

(1) Parfois dans une position intermédiaire, appelée la demi-plongée, et qui a l'avantage de permettre au sous-marin de disparaître très rapidement, s'il est aperçu, tout en économisant, par rapport à la plongée complète, sa réserve d'énergie électrique.

mergée offre une résistance à la marche beaucoup plus considérable qu'en surface; la surface mouillée de la carène s'accroît, en effet, en plongée, de toute la partie qui émergeait en flottaison lège, et l'on sait que la résistance d'une carène à la marche est à peu près proportionnelle à la surface mouillée, tant qu'il s'agit, comme dans le cas qui nous occupe, de vitesses modérées. Il en résulte donc que, à vitesse propulsive égale, le sous-marin aura en plongée une vitesse sensiblement inférieure à la vitesse de surface. Cette perte de vitesse à puissance égale varie évidemment suivant le type de bâtiment, suivant le développement plus ou moins considérable des superstructures : elle est généralement comprise entre 15 et 25 °/₀ et dans certains cas peut atteindre 35 °/₀.

Pour ces deux raisons, moindre puissance des moteurs électriques et plus grande résistance à la marche, la vitesse maxima en plongée sera très notablement inférieure à la vitesse de surface. Ce sera 10 ou 11 nœuds pour le sous-marin que nous avons pris comme exemple.

La vitesse est un des éléments qui parlent le plus à l'imagination; mais il est d'autres caractéristiques plus importantes encore à considérer dans le sous-marin, car elles sont liées, non plus seulement à son rôle tactique, mais à son utilisation stratégique. La distance franchissable, ou rayon d'action, est une de celles-là.

La distance franchissable en surface dépend de la contenance des soutes à combustible, et en outre de la vitesse de route considérée. L'emploi très généralisé de moteurs à pétrole à combustion interne, du genre Diesel, a permis de donner aux sous-marins des rayons d'action considérables. On sait en effet

qu'une des propriétés les plus précieuses du moteur Diesel est d'être très économique. Aux allures les plus avantageuses un moteur Diesel consommera moins de 200 grammes de pétrole lourd; par cheval-heure, c'est environ la moitié de ce que consomment d'essence les moteurs à explosion employés sur les automobiles ou les aéroplanes, c'est le tiers, à peu près, de ce que consommerait une machine à vapeur dont la chaudière serait chauffée au pétrole.

Grâce à cette économie remarquable, les sous-marins pourront donc parcourir des distances considérables, s'éloigner à des centaines, à des milliers de kilomètres de leur base de ravitaillement, sans qu'il soit nécessaire pour cela de leur donner un volume de soutes à pétrole excessif. D'autre part, le pétrole est, à cet égard, un combustible très avantageux, bien supérieur au charbon. Indépendamment des facilités particulières que son état liquide procure pour son embarquement, puisqu'il suffit d'une pompe pour faire le plein des réservoirs, le pétrole a l'avantage de remplir complètement les soutes, sans qu'il y ait d'espace perdu comme cela arrive inévitablement avec le charbon, surtout quand on emploie du charbon en roche. Enfin, avons-nous dit, la distance franchissable en surface, sur un bâtiment donné, varie avec la vitesse de route adoptée; et ceci permet, par un choix judicieux de cette vitesse, d'accroître énormément le rayon d'action. Le calcul montre, en effet, et l'expérience vérifie que le rayon d'action varie à peu près exactement en raison inverse du carré de la vitesse; en d'autres termes, si un navire peut franchir 1.000 milles à la vitesse de 16 nœuds, à une vitesse deux fois moindre, soit à 8 nœuds, il pourra en franchir $2 \times 2 = 4$ fois plus, soit 4.000 milles.

Or, il faut observer que la navigation en surface, pour un sous-marin, n'est en quelque sorte que la préface de l'opération militaire qu'il va exécuter, c'est, pour lui, uniquement le moyen de se rendre sur le lieu de combat qui lui est assigné, en économisant le plus possible son énergie électrique. Dès lors, dans la généralité des cas, il lui sera loisible de faire route aussi lentement qu'il lui conviendra ; ce n'est pas comme les croiseurs, appelés les lévriers de la mer, un bâtiment qui doit engager la poursuite avec des ennemis rapides qui fuient devant lui et qu'il doit rattraper au plus tôt, faute de quoi il les verra lui échapper.

Le sous-marin se rend à son poste comme une troupe, placée en réserve assez loin dans l'intérieur du pays, se rend à l'emplacement qui lui a été désigné au front. Dans ce cas, rien ne sert de courir, l'essentiel est d'être à l'heure dite au point donné, et pour cela il suffit de partir suffisamment tôt. Le sous-marin peut donc faire route aussi lentement qu'il veut, c'est-à-dire choisir ce que l'on appelle l'allure économique, la vitesse pour laquelle la consommation de combustible, par mille parcouru, est la plus faible.

La grande vitesse en surface et le grand rayon d'action à allure réduite sont deux qualités qu'il est difficile de réaliser à la fois sur un même bâtiment. Voici pourquoi : les moteurs à pétrole sont des appareils dont le rendement est maximum à pleine puissance ; par exemple, un moteur Diesel à quatre temps, qui consomme 200 grammes de combustible par cheval-heure effectif à pleine charge, en consommera 230 à 240 à demi-charge, 280 grammes à quart de charge, et au dixième de la puissance maxima, sa consommation par cheval-

heure dépassera 300 grammes. Si donc un sous-marin a une vitesse si modérée, 13 nœuds au maximum, par exemple, à l'allure de route comprise entre 10 et 11 nœuds il devra faire développer à ses moteurs environ la moitié de leur puissance maxima (1); ceux-ci travailleront donc dans des conditions économiques assez voisines du rendement maximum.

Considérons au contraire un sous-marin extra-rapide, capable de filer 20 nœuds. A l'allure de route de 10 à 11 nœuds, ses moteurs développeront à peine le huitième de leur puissance maxima; ils fonctionneront donc dans des conditions très peu économiques. Si l'on observe, en outre, que ces moteurs très puissants sont forcément lourds, et que le poids qui leur est consacré réduit d'autant celui de l'approvisionnement de combustible, on comprendra clairement comment il se fait que la grande vitesse et la grande distance franchissable soient deux éléments difficilement conciliables.

Les considérations exposées ci-dessus aideront à comprendre les tableaux que nous donnerons des caractéristiques des différents sous-marins.

SOUS-MARINS FRANÇAIS

Nous avons été amené, dans le chapitre I, à nous étendre avec assez de détails sur la construction des sous-marins français. Il est donc inutile d'y revenir ici, et il suffira de résumer l'état de notre flottille sous-marine au début de 1914 dans le tableau ci-après :

(1) L'expérience prouve que la puissance propulsive, sur un bâtiment, croît comme le cube de la vitesse; en d'autres termes, pour obtenir une vitesse double, il faut huit fois plus de puissance.

TYPE	NOMBRE	DATE	TONNAGE		VITESSE		APPAREILS L.-T.
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE	
					Nœuds	Nœuds	
Circé	1	1904	351	500	11	8	VI
Émeraude	6	1902-1905	400	430	11	9	III
Pluviôse	18	1905-1908	400	550	12,5	8	VII
Brumaire	16	1907-1911	400	550	12,5	8,5	VII
Clorinde	10	1912-1914	410	600	14	9	VIII
Archimède	1	1907-1909	580	800	15	11	VII
Mariotte	1	1907-1910	530	600	15	11	VI
Bourgois	1	1907-1910	580	700	15	11	VII
Gustave-Zédé	2	1914	800	1.100	18	11	X
Gorgone	3	En construction.	530	790	17	10	VII
Diane	2	Id.	630	900	18	11	X
Dupuy-de-Lôme	2	Id.	840	1.300	19	11	VIII
Lagrange	4	Id.	840	1.300	18	11	VIII
Joëssel	2	Id.	870	1.200	18	11	X

SOUS-MARINS ANGLAIS

L'Angleterre s'est mise assez tard à la construction des sous-marins. Tout au début, elle a paru mépriser la nouvelle arme ; disons le mot, elle la voyait d'un mauvais œil ; forte de sa situation insulaire garantie par la première flotte du monde, elle ne pouvait pas souhaiter le développement d'un engin qui pouvait changer profondément les conditions de la guerre navale.

Mais, comme les autres nations n'en continuaient pas moins à construire des sous-marins, l'Amirauté anglaise adopte une nouvelle attitude ; elle aussi elle aura des sous-marins, mais non pas pour sa défense, uniquement pour bien connaître la nouvelle arme et étudier expérimentalement les moyens de détruire les sous-marins. Pour cela, elle s'est adressée à la maison Holland qui lui a fourni ses premiers sous-marins. Mais il faut croire qu'à l'usage, les Anglais sont revenus de leurs préventions initiales et ont reconnu l'utilité des sous-marins, même pour une grande puissance navale comme eux ; l'Amirauté adopte, en effet, peu après, une troisième attitude : elle commande des sous-marins, par série, en grand nombre, non plus comme bâtiments d'expériences, mais bel et bien comme navires de combat. Depuis, elle n'a pas changé et a poursuivi le développement de sa flottille sous-marine avec une méthode, une régularité et un esprit de suite qui ne peuvent être comparés qu'à ceux de l'Allemagne. Les Anglais ne se sont pas piqués d'être des inventeurs de sous-marins : ce sont, suivant une de leurs expressions favorites, des *practical men*. Ils ont acheté le type de sous-marin

qui leur paraissait le meilleur parmi tous ceux qu'offrait l'industrie privée. Ils l'ont copié d'abord à un certain nombre d'exemplaires; puis ils l'ont reproduit en l'agrandissant peu à peu et en perfectionnant les détails; et ils ont continué ainsi pendant plusieurs années, mettant en chantier à chaque budget des séries de 6, 8, 10 et même 20 sous-marins identiques, chaque fois un peu plus gros, un peu plus rapides ou mieux armés que les précédents. Et ils sont arrivés ainsi à avoir une flottille de premier ordre.

Indépendamment de l'homogénéité absolue des bâtiments appartenant à une même série, les caractéristiques des sous-marins anglais sont leur robustesse et leur simplicité.

Ils n'ont pas cherché à obtenir, avec un déplacement donné, la vitesse maxima possible, l'armement maximum, le plus grand rayon d'action possible. Ils ont voulu des bâtiments marins; ils ont adopté délibérément un fort tonnage afin d'être plus à l'aise pour remplir le programme qu'ils jugeaient nécessaire; ils ont fait des coques solides, et volontairement sacrifié les records de vitesse à la qualité qui leur a paru la plus essentielle : l'endurance.

Toutefois, depuis 1914, l'Amirauté s'est montrée plus éclectique : tout en continuant la construction en série de ses sous-marins dérivés du *Holland*, elle a acheté divers types de submersibles : en France des *Laubeuf*, en Italie des *Fiat-San-Giorgio*, afin de les expérimenter.

Le tableau ci-après donne les caractéristiques principales des diverses classes de ces sous-marins.

A partir de 1914, les annuaires ne donnent plus aucun renseignement sur les nouvelles constructions.

TYPE	NOMBRE	DATE	TONNAGE		VITESSE		TUBES
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE	L.-T.
					Nœuds	Nœuds	
A	9	1904	180	207	11,5	7	»
B	10	1905	280	313	13	8	»
C_1 — C_{18}	17	1906-1907	280	313	13	8	II
C_{19} — C_{38}	20	1908-1909	280	313	13	8	II
D	9	1910-1911	550	600	16	9	III
E	18	1912	»	810	16	9	IV
F	8	1913	»	1.200	20	»	»

SOUS-MARINS ITALIENS

A l'inverse des Anglais, les Italiens ont mis beaucoup d'originalité dans la construction de leurs sous-marins et, au lieu d'adopter un type commercial et de le perfectionner progressivement, ils ont créé des types nouveaux. Malheureusement, leur budget de la marine, beaucoup plus limité, ne leur permettait pas de les construire en série.

Le *Delphino* de 1894 est un sous-marin analogue à notre *Morse,* sans grande valeur militaire.

Le *Glauco*, le *Squalo,* le *Narvalo,* l'*Otaria,* le *Tricheo,* construits en 1906-1907, sont des sous-marins un peu plus gros (180 tonneaux en surface) sans beaucoup d'intérêt. Au contraire, les neuf submersibles types *Foca, Medusa,* construits par la firme Fiat San Giorgio à La Spezia, sur les plans de l'ingénieur Laurenti, paraissent des bâtiments très réussis. Étant donné leur déplacement très modéré (225 tonneaux en surface), la vitesse de 14,6 nœuds qu'ils ont donnée est remarquable. On peut leur reprocher toutefois d'être de construction un peu légère, aussi bien comme moteurs que comme coque.

Le *Nautilus* et la *Nereide,* construits à Venise, sont du type Bernardis; leur déplacement atteint 400 tonneaux en surface.

Le *Pullino* et le *Ferraris,* construits à La Spezia en 1912, ont 345 tonneaux et filent 15 nœuds en surface et 9 en plongée.

Enfin, au début de la guerre, les Italiens avaient en chantier huit sous-marins de la série *Pietro-Mica,* de 700 tonneaux, qui devaient filer 18 nœuds en surface et 12 en plongée.

SOUS-MARINS RUSSES

La Russie donne le plus parfait exemple de l'éclectisme : elle a acheté des sous-marins à l'Allemagne, du type Krupp, aux États-Unis, du type Lake et du type Holland, à l'Italie du type Fiat, et elle a même construit des sous-marins sur des plans d'ingénieurs russes. Le tableau ci-après donne la situation de sa flotte sous-marine au début des hostilités.

TYPE	NOMBRE	DATE	TONNAGE		VITESSE	
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE
					Nœuds	Nœuds
Makrel (Russe)	7	1904	150	200	9,5	7
Sig (Américain)	1	1904	135	175	10	7
Krokodil (*Lake*)	4	1908	450	500	16	6,5
Karp (Allemand)	2	1907	200	240	12	10
Kit (Russe)	6	1913-1914	460	600	15	11,5
Jasy (Fiat)	1	1914	700	»	16	12
Forel (Russe)	2	1914	700	»	16	12

SOUS-MARINS ALLEMANDS

L'Allemagne s'est mise très tardivement à la construction des sous-marins ; le premier apparaît en 1906, il sort des chantiers Germania de Krupp à Kiel et il est construit d'après les plans d'un jeune ingénieur qui avait suivi à la fin du siècle dernier les cours de notre École d'application du génie maritime en qualité d'élève étranger. Il était à cette époque-là de nationalité espagnole. Si l'on remarque que cet ingénieur se trouvait en France et en rapports étroits avec les milieux maritimes français qui accueillaient ce jeune homme avec bienveillance, au moment même où s'élaboraient les plans de nos premiers submersibles, *Narval, Sirène,* on peut trouver la coïncidence assez curieuse. L'étonnement croîtra lorsqu'on saura que les plans, dont la grande firme de Kiel acquit la propriété pour un prix très élevé, étaient ceux d'un submersible à coque intérieure circulaire, à ballasts extérieurs légers et qui rappelait singulièrement notre *Aigrette,* non seulement par ses dimensions, ses formes, ses dispositions générales, mais même par des points de détail très caractéristiques.

Évidemment, depuis que Laubeuf a créé le *Narval,* plusieurs autres chantiers étrangers ont construit aussi des submersibles, et le principe même de ce genre de bâtiment paraît être tombé dans le domaine public. Mais, si l'on examine ces bâtiments, même sommairement, on constate que le constructeur, bien loin de copier servilement, a eu ses idées à lui, qu'il a modifié dans un sens, que

l'on peut juger plus ou moins heureux, la conception première de Laubeuf. C'est le cas pour les submersibles Fiat et Lake.

Chez Krupp rien de pareil ; dans ce premier bateau l'*U-1* on chercherait vainement une idée neuve personnelle et, tout naturellement, le mot de démarquage intelligent vient à la bouche.

Il est bien tard maintenant pour élucider ce point ; il n'en subsiste pas moins quelque chose d'assez louche dans les origines des submersibles allemands. En tout cas, nos ennemis devraient, s'ils avaient quelque franchise, apposer sur tous leurs sous-marins la même inscription que celle qu'ils gravent sur les fléchettes lancées par leurs avions :

INVENTION FRANÇAISE

APPLIQUÉE PAR LES ALLEMANDS

Partis de ce premier sous-marin, à peu près identique à nos submersibles, les Allemands ont continué la construction de bâtiments, chaque année un peu plus gros et également un peu plus nombreux. Il faut reconnaître qu'avec leur patience et leur méthode servie par de gros crédits, beaucoup plus considérables que ceux qui figurent dans les budgets officiels, ils ont largement rattrapé le temps perdu.

Ils ont été particulièrement aidés par leur industrie privée qui a su de bonne heure acquérir la pratique de la construction si délicate des moteurs Diesel ; on doit leur rendre cette justice qu'ils ont été les initiateurs du progrès dans la question des moteurs à pétrole.

Ce qui leur a permis, en outre, d'arriver à posséder une flottille sous-marine, si rapidement qu'au début des hostilités on n'en connaissait pas complètement l'importance, c'est qu'ils ont eu de la suite dans les idées, qu'ils ont possédé dès le début une politique navale bien arrêtée. C'est bien avant la guerre que les Allemands ont conçu l'idée du blocus de l'Angleterre par les sous-marins, par le torpillage sans merci de tous les navires de commerce, et c'est depuis des années qu'ils ont préparé cette façon de faire la guerre.

Ayant un objectif bien défini à l'avance, ils ont construit, non pas des sous-marins propres à tout faire, mais uniquement des sous-marins capables de remplir le rôle auquel ils les destinaient *a priori*.

Ayant peu de côtes, et leurs ports, placés dans des estuaires ou des rades profondes, étant peu vulnérables, ils ne se sont pas préoccupés d'avoir des sous-marins défensifs à petit rayon d'action. Ils ont cherché avant tout à avoir des bâtiments capables d'aller au loin sans avoir besoin d'être ravitaillés. Aussi ont-ils presque tout sacrifié au rayon d'action ; sauf pour quelques unités de gros tonnage, peu nombreuses, ils n'ont cherché la grande vitesse ni en plongée ni en surface ; ils ont préféré agrandir les soutes à pétrole, de manière que le sous-marin ait assez de combustible pour pouvoir se rendre sans escale de Wilhelmshafen à Constantinople ou en Amérique. Ils ont également porté leur attention tout spécialement sur la rapidité de plongée, prévoyant qu'en cas de guerre, la mer serait aux Anglais, et que leurs sous-marins, partout où ils s'aventureraient, devraient être sur le qui-vive, toujours prêts à chercher un refuge sous les flots.

Enfin, il semble bien que ce sont les Allemands qui ont les premiers muni leurs sous-marins de canons. Les autres puissances, à leur suite, ont mis des canons sur leurs sous-marins, mais plutôt par esprit d'imitation que dans un but militaire bien défini.

En effet, dans la guerre sous-marine, telle que les nations civilisées la comprenaient, on ne s'expliquait guère l'utilité de l'artillerie des sous-marins. Contre un bâtiment de guerre le sous-marin en surface aura toujours fatalement le dessous, et la seule tactique raisonnable pour lui est de plonger. Contre un bâtiment non armé... mais qui donc aurait, il y a trois ans, songé à s'attaquer aux pacifiques navires de commerce? personne, si ce n'est les Allemands qui, dès cette époque, avaient arrêté le plan de leur guerre sous-marine sans limite.

On voit donc que l'étude, toute technique, de la construction sous-marine en Allemagne, fournit, elle aussi, une preuve *a posteriori* de la préméditation de la Prusse dans la guerre actuelle.

Il est à peu près impossible de donner une liste exacte des sous-marins que possédait l'Allemagne à l'entrée en guerre. Le *Marine-Amt* a toujours évité de donner des renseignements précis sur ses sous-marins; tout au plus, en temps de paix, consentait-il à donner quelques indications sur les plus vieilles unités, celles qui étaient déjà démodées et sans valeur militaire. Aussi les listes des annuaires navals, en ce qui concerne les sous-marins allemands, sont-elles toutes ou incomplètes ou douteuses. Quoi qu'il en soit, nous donnons ci-après ces renseignements tels qu'ils résultent de ces publications.

CLASSE	NOMBRE	ANNÉE	TONNAGE		VITESSE	
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE
					Nœuds	Nœuds
U	1	1906	197	236	10	7
U_2 à U_6	5	1907-1910	210	250	13	8
U_7 à U_{16}	10	1910-1912	250	300	13	8
U_{17} à U_{19}	3	1913	350	450	14	8
U_{20} à U_{28}	9	1913-1914	700	890	17	12
U C (mouilleurs de mines)	»	1914	»	»	6	3
U B	»	»	250	300	8	5
U	»	1915	700 à 800	»	16	»

CHAPITRE III

UTILISATION DES SOUS-MARINS

SOUS-MARINS DÉFENSIFS

Ainsi qu'on l'a vu dans le chapitre I, les premiers sous-marins, uniquement électriques, avaient un rayon d'action très faible ; la nécessité de revenir au bout de quelques heures à leur port d'attache pour y recharger leurs accumulateurs était pour eux comme un fil à la patte qui leur interdisait absolument les longues randonnées. Mais, même ainsi limitée, la valeur militaire de ces bâtiments restait très grande au point de vue défensif. Ils ne pouvaient pas aller au loin, sans doute, mais la puissance de leur arme, la torpille, leur permettait de s'attaquer aux plus gros vaisseaux de guerre et de les couler ; dans l'étroite zone où ils devaient se confiner, ils restaient les maîtres de la mer, puisqu'ils étaient capables d'en interdire l'accès à n'importe quel ennemi. Le rôle défensif de garde-rade, garde-port a donc été le premier qu'on ait assigné aux sous-marins, et c'est encore, à l'heure actuelle, celui pour lequel leur valeur demeure incontestée. Grâce à eux, le bombardement par une escadre d'un point important

de la côte, port de guerre ou port de commerce, peut être rendu tout à fait impossible. Et à cet égard, les renseignements de la guerre actuelle n'ont fait que confirmer ce que les experts en questions maritimes avaient annoncé dès l'apparition des sous-marins; désormais, l'attaque de vive force par une escadre d'une rade, d'un port de guerre défendus par des sous-marins n'est plus possible; c'est une entreprise devenue téméraire et qui n'a plus aucune chance de réussite. C'est, dans bien des cas, la méconnaissance de ce fait, qui a amené l'insuccès de tentatives que les marines mieux averties évitent maintenant.

Cette valeur défensive du sous-marin en fait naturellement l'arme toute désignée des faibles, des petites nations, qui n'ont jamais eu et ne pourraient même pas avoir d'intentions agressives, mais qui, malgré la pureté de leurs intentions, ne sont pas à l'abri des agressions de la part des forts. Le sous-marin leur permet de résister, de protéger leurs côtes. Et de plus, comme le sous-marin, et tout particulièrement le sous-marin défensif à petit rayon d'action, est un bâtiment de petites dimensions, son prix est relativement peu élevé; les petites puissances peuvent donc par ce moyen, et sans obérer leur budget de la marine, se constituer des moyens de défense efficace.

Il n'existe pas, à proprement parler, de type spécial pour le sous-marin défensif; un sous-marin de haute mer est en effet tout à fait capable d'assurer la défense des côtes; son fort approvisionnement de combustible lui permet, en revanche, d'entreprendre en outre des opérations de plus grande envergure.

En fait, dans les derniers temps avant la guerre,

les grandes puissances maritimes n'ont pour ainsi dire pas construit de sous-marins défensifs ; elles possédaient un assez grand nombre de sous-marins anciens, démodés à cause de leur faible vitesse et de leur distance franchissable insuffisante, qui pouvaient encore remplir avantageusement ce rôle de défensifs. Autrefois, il n'en a pas été de même, et les vingt sous-marins type *Naïade,* construits en France, peuvent être donnés comme un bon exemple de ce type de navire.

Au contraire, chez les petites puissances comme la Suède, la Norvège, le Danemark, la Hollande, qui s'interdisent *a priori* toute action offensive, la flotte sous-marine tout entière est constituée par des bâtiments qui ont juste le rayon d'action suffisant pour patrouiller le long des côtes sans s'éloigner beaucoup de la limite des eaux territoriales.

SOUS-MARINS OFFENSIFS

Dès l'apparition du sous-marin à double moteur, l'accroissement de distance franchissable ainsi obtenu permit d'envisager une extension du rôle des sous-marins et éveilla des idées d'offensive. On peut le rappeler à présent que cela est devenu presque de l'histoire : le programme du premier submersible, du *Narval,* si modeste qu'il nous paraisse à nous qui avons vu des sous-marins franchir l'Atlantique, était cependant déjà un programme offensif. Il s'agissait, pour le nouveau bâtiment, de quitter à la nuit tombante le port de Cherbourg, de faire route à petite vitesse pendant toute la nuit pour traverser la Manche (60 milles marins environ de largeur en ce point), de manière à

se trouver au petit jour à l'entrée de la rade de Spithead; là, de pénétrer dans la rade même, en plongée, d'y torpiller le plus grand nombre possible de bâtiments ennemis devant le port de Portsmouth (Les Anglais nous pardonneront ce souvenir; à cette époque, à la veille de Fachoda, il n'était pas encore question d'entente cordiale); puis, cette besogne accomplie, et en étant resté immergé jusqu'au coucher du soleil, de sortir de la rade et de revenir en surface, une fois la nuit venue, pour rentrer ainsi à Cherbourg.

Par la suite, les vitesses des sous-marins se sont accrues très notablement, leur approvisionnement de combustible a été fortement augmenté et l'on a pu compléter ce programme initial en envisageant, non seulement des opérations consistant à porter la guerre sur n'importe quel point des côtes ennemies, fût-il éloigné de plusieurs milliers de milles, mais même d'entreprendre, avec les sous-marins seuls, le blocus d'un port ou d'une rade ennemie, le barrage d'un détroit.

On remarquera que, dans les opérations ci-dessus, le sous-marin agit seul; tout au plus peut-il être convoyé par quelques bâtiments rapides, croiseurs légers ou contre-torpilleurs. Il résulte de ce fait que le sous-marin est maître de sa vitesse et peut choisir l'allure qui est la plus avantageuse. Les qualités à demander à ce type de navire sont donc avant tout un grand rayon d'action, de l'endurance, ce qui exige un tonnage assez fort.

Il faut également que sa batterie d'accumulateurs ait une capacité largement suffisante pour lui permettre de rester en plongée pendant toute la durée du jour, c'est-à-dire jusqu'à 18 et 20 heures, dans nos latitudes au moment du solstice d'été. Mais en

revanche, une grande vitesse en surface n'est pas nécessaire; c'est un luxe superflu.

La recherche des grandes vitesses en surface se justifiait par d'autres visées. S'il s'agit, non plus d'opérations exécutées par les sous-marins seuls, mais d'actions en liaison avec d'autres forces navales, en un mot, si l'on veut faire coopérer le sous-marin à la bataille navale, il devient indispensable qu'il puisse accompagner les escadres, tout comme les torpilleurs d'escadre, dont la nuée suit nos lourds mastodontes dans tous leurs déplacements. On en arrive ainsi à la conception du sous-marin d'escadre qui différera du simple sous-marin offensif ou de haute mer, précisément par sa vitesse en surface.

Faire accompagner des escadres par des sous-marins qui ne peuvent pas filer plus de 10 à 12 nœuds, le bénéfice ne serait pas grand, puisque les cuirassés seraient obligés de réduire leur vitesse pour ne pas semer en route leurs petits auxiliaires. L'escadre y perdrait la liberté de ses mouvements et serait, au total, plus gênée qu'aidée par la présence des sous-marins.

Il est donc indispensable que le sous-marin d'escadre ait la même vitesse que les cuirassés qu'il doit accompagner. On n'est pas encore arrivé tout à fait à réaliser le type parfait de ce genre de bâtiment. Néanmoins, on a pu, en choisissant les plus grosses de ces unités et les plus rapides, les adjoindre à des forces navales, et les sous-marins ont joué leur rôle dans les batailles navales, notamment dans la bataille du Jutland, et le nombre de bâtiments de haut bord qu'ils ont coulés est là pour attester leur efficacité.

Il est donc permis de penser qu'à l'avenir, tout

en continuant à construire à la fois de petits sous-marins pour la défense des côtes et de gros sous-marins de haute mer destinés à opérer isolément, toutes les grandes puissances navales s'efforceront de résoudre complètement le problème du sous-marin d'escadre ; et il ne fait pas de doute que l'on réussisse enfin à doter ces bâtiments de la vitesse nécessaire, grâce au progrès des moteurs à pétrole. Ce nouveau type de sous-marins deviendra l'accompagnement obligatoire des escadres cuirassées, au même titre que les croiseurs légers et torpilleurs actuels.

SOUS-MARINS MOUILLEURS DE MINES

C'est peu d'années avant 1914 que la conception du sous-marin mouilleur de mines a pris naissance. A vrai dire, on pourrait considérer les premiers sous-marins, ceux qui sont antérieurs à l'invention de la torpille automobile, comme des mouilleurs de mines, puisqu'ils étaient destinés à porter et à aller déposer une charge explosive dans le voisinage des bâtiments ennemis.

Mais dès l'invention de Whitehead, cette idée avait été abandonnée et, lorsqu'elle réapparaît, presque un demi-siècle plus tard, il convient, en bonne justice, de la considérer comme une idée nouvelle. C'est d'ailleurs dans un brevet de la célèbre firme de Fiume qu'on la retrouve pour la première fois.

Cette utilisation du sous-marin était évidemment très séduisante. Le mouillage des mines par des bâtiments de surface présente en effet deux inconvénients : d'abord le danger même que court le bâtiment mouilleur s'il opère dans les eaux enne-

mies ; ensuite, même s'il parvient à s'échapper, s'il a été vu, l'ennemi est averti du danger et il lui est relativement facile, par des dragages répétés, de se débarrasser des indésirables engins qui ont été déposés près de ses côtes. Avec le sous-marin, on réalise le mouillage discret des mines ; leur efficacité se trouve donc accrue de ce que leur présence reste ignorée jusqu'à ce qu'un navire les heurte et en sautant vienne révéler leur existence.

C'est pourquoi, en très peu de temps, les diverses marines et les chantiers de constructions navales se sont mis à étudier la question, et le grand nombre de brevets déposés un peu partout, ayant pour objet l'adaptation du sous-marin au mouillage des mines, montre la variété des solutions qui ont été proposées.

Nous ne parlerons pas de celles qui ont été adoptées, soit en France, soit chez nos alliés ; mais nous pouvons donner quelques indications sur les sous-marins mouilleurs de mines construits par les Allemands. Les nombreux accidents, qui ont amené en quelque sorte automatiquement la destruction de plusieurs de ces bâtiments, ont fourni les moyens d'une ample documentation.

Ce sont d'assez petits sous-marins, entièrement spécialisés, c'est-à-dire qu'il sont exclusivement destinés à mouiller des mines et que l'on a délibérément, pour leur permettre de remplir ce rôle, sacrifié toutes leurs autres qualités. Ils ont peu de flottabilité et tiennent mal la mer ; une vitesse très faible en surface, et encore moindre en plongée ; ils sont munis de moteurs très peu puissants et ont une batterie d'accumulateurs très réduite. Les logements et accommodations pour l'équipage sont plus que sommaires. La plus grande partie du

sous-marin est occupée par les mines qui sont logées dans des sortes de puits qui traversent complètement la coque. Pour mouiller la mine, un mécanisme de déclenchement la libère et elle tombe automatiquement par son poids. Naturellement, des dispositifs de sécurité sont disposés pour empêcher, dans ce mouvement, la mine d'exploser prématurément. Il faut croire que la sécurité procurée pour ces appareils est très relative, car, ainsi que nous l'avons dit, plusieurs de ces sous-marins se sont fait sauter en mouillant leurs mines.

Quoi qu'il en soit, cette manière d'utiliser les sous-marins répond à une nécessité certaine. La manière d'opérer des sous-marins mouilleurs de mines diffère cependant de celle des bâtiments de surface. Ces derniers, en général, mouillent soit des lignes de mines, régulièrement espacées, soit des champs de mines, c'est-à-dire qu'ils couvrent de ces engins une zone déterminée. Cette manière de faire exige que le bâtiment porte des centaines de mines. Or, l'approvisionnement des sous-marins mouilleurs de mines est forcément beaucoup plus restreint; le type allemand n'en possède même guère plus d'une douzaine. Dans ces conditions, pour établir un véritable barrage, le sous-marin devrait s'y reprendre à plusieurs fois, ou bien il faudrait disposer d'un nombre très considérable de mouilleurs de mines.

Même ainsi, il y aurait un danger très grand à opérer de la sorte, car le sous-marin, en plongée, ne peut pas repérer sa route avec autant de précision qu'un bâtiment de surface, et il courrait les plus grands risques de se faire sauter sur les mines qu'il aurait déposées précédemment.

Aussi la tactique des sous-marins mouilleurs de

mines, imposée d'ailleurs par la nécessité, consiste-t-elle à mouiller soit des mines isolées, soit des groupes de quelques mines peu nombreuses. Cette dispersion, à condition qu'elle soit faite avec discernement, dans les endroits de passage les plus fréquentés, accroît, en somme, la probabilité, pour les mines, d'être rencontrées. En outre, le sous-marin ayant toute facilité pour se dissimuler peut avoir intérêt à revenir plusieurs jours de suite dans les mêmes parages, pour y mouiller deux ou trois mines. Si, dans l'intervalle, on a opéré des dragages et déblayé la passe, on s'imagine avoir toute sécurité, et l'on retrouve des mines à l'endroit même où l'on avait dragué la veille ou l'avant-veille. C'est une observation qu'il ne faut pas perdre de vue, dans ces opérations : la sécurité obtenue ainsi est de peu de durée ; il est indispensable de draguer et de redraguer sans cesse.

LA GUERRE DE COURSE ET LES SOUS-MARINS LE SOUS-MARIN COMMERCIAL

A ces manières, en quelque sorte classiques, d'utiliser les sous-marins, les Allemands en ont ajouté une quatrième qui, à vrai dire, n'était pas complètement inconnue avant eux, mais qu'ils ont développée avec un mépris du droit des gens et des lois de l'humanité qu'on n'aurait pas osé prévoir. Se servir du sous-marin, qui peut passer inaperçu à peu près partout, pour arrêter les bâtiments qui font commerce avec l'ennemi, puis disparaître sous les flots, pour leur demander la sécu-

rité, aussitôt qu'un bâtiment armé est en vue, c'est de bonne guerre. Mais, pour une marine puissante, qui a la maîtrise de la mer par le moyen de ses forces navales de surface, cette utilisation des sous-marins n'apparaît que comme accessoire. Il faut le répéter bien haut, les résultats de la campagne sous-marine allemande ne sont pas en eux-mêmes considérables, malgré tout l'effort industriel colossal que la préparation de cette campagne a exigé des arsenaux et des constructeurs prussiens. Le succès de cette campagne, pour employer l'expression dont aiment à se servir les gazettes d'outre-Rhin, est plutôt un succès d'intimidation, nous ne voudrions pas dire de terrorisation, car nous nous attirerions, avec juste raison, les véhémentes protestations des marins de toutes les nations alliées. Et cet effet d'intimidation est produit moins par les sous-marins eux-mêmes que par l'absence de scrupules avec laquelle ils agissent; le mépris dans lequel l'Allemagne tient les nations faibles et leurs droits à l'existence lui permet d'exercer ses ravages contre les neutres. La situation, si elle n'était pas si tragique pour ces petits peuples incapables de résister, pourrait être comparée à cette fameuse altercation entre deux cochers, qui ne trouvent pas d'autre moyen pour vider leur querelle que de tomber chacun respectivement, à grands coups de fouet, sur le « bourgeois de l'autre ».

L'Allemagne se venge sur les neutres de ce qu'elle n'a pas réussi au bout de près de trois années de guerre à écraser sur terre les armées de l'Entente et de ce que toutes les tentatives de sa flotte de haute mer pour briser le blocus anglais ont été vaines. Et les neutres, dans leur impuissance, sont

obligés de supporter tous ces attentats, sans élever d'autres protestations que de timides réclamations diplomatiques. Malheur aux faibles! Mais il est clair qu'une grande puissance neutre ne pouvait conserver indéfiniment cette attitude passive ; et c'est ce qui explique les décisions prises par le président Wilson, appuyé par la quasi-unanimité de ses compatriotes. Il semble donc bien que la guerre sous-marine, telle que les Allemands ont décidé de la pratiquer, n'est que l'expédient désespéré d'un peuple aux abois et fou de rage.

Quos vult perdere Jupiter dementat.

Dans ces conditions, elle apparaît, au point de vue naval, comme une conception médiocre, et au point de vue politique, comme une faute, pis que cela, comme une gaffe, dirons-nous, pour employer un terme maritime.

Pratiquée, au contraire, dans les limites que lui assignent le droit des gens et les lois de l'humanité, la guerre commerciale au moyen des sous-marins peut rendre quelques services, elle n'aura jamais une importance capitale pour une puissance navale vraiment forte.

Les fameux sous-marins commerciaux, le *Deutschland* et le problématique *Bremen,* dérivent encore du même état d'esprit, de ce désir de frapper les imaginations, de bluffer enfin. Techniquement, un bâtiment de ce genre ne peut pas se concevoir. Pour qu'il mérite son nom, il faut qu'il rapporte un bénéfice à son armateur, et, au prix où sont les sous-marins, avec leur machinerie environ dix fois plus coûteuse que celle d'un cargo, pour qu'un voyage fût rémunérateur, il serait nécessaire que

le sous-marin emportât un poids de marchandise supérieur à son déplacement total. Or, le sous-marin est précisément, de tous les bâtiments, celui où la charge utile qu'on peut embarquer est la plus réduite.

En effet, le sous-marin doit porter un double moteur, pour la surface et pour la plongée ; les accumulateurs électriques sont d'un poids considérable ; il doit être muni d'accessoires de toutes sortes qui n'existent pas sur un bâtiment de surface ; sa coque même, calculée pour résister aux pressions de l'eau, est beaucoup plus lourde. Si l'on fait le total de tous ces poids, même dans l'hypothèse d'un bateau construit spécialement, on s'aperçoit qu'il ne reste plus grand'chose de disponible pour le chargement. Il y a cependant une catégorie de marchandises que l'on peut transporter en quantités un peu notables : ce sont celles qui supportent sans inconvénient le contact de l'eau de mer ; on peut alors, pour la traversée, les loger dans l'intérieur des ballasts. Mais dans ce cas on diminue la flottabilité du sous-marin, c'est-à-dire que l'on sacrifie sa tenue à la mer, et par mauvais temps cela peut être dangereux.

Quoi qu'il en soit, si les Allemands ont compté sérieusement sur le ravitaillement par sous-marins, qu'ils fassent un petit calcul bien simple, et ils se rendront compte que la quantité de vivres rapportée à chaque traversée par un *Deutschland,* distribuée à leur population de plus de 100 millions d'habitants, assure sa nourriture pendant... quelques minutes !

Laissant de côté ces plaisanteries vraiment trop faciles, il n'est même pas prouvé que, pour le transport de matières rares (produits pharmaceutiques, nickel), dont les Empires centraux sont

presque totalement démunis, le *Deutschland* ait apporté un secours appréciable. La meilleure preuve en est que ce bâtiment, après deux voyages sensationnels, paraît avoir été désaffecté et utilisé comme navire ravitailleur de pétrole pour les sous-marins de guerre. A la bonne heure, ils se sont enfin décidés à mettre bas le masque. Toutes leurs réclames, les services postaux, leurs sociétés anonymes pour les transports commerciaux sous-marins, ce n'était qu'une comédie.

DE QUELQUES EMPLOIS IMPRÉVUS DES SOUS-MARINS

Il est incontestable que l'usage des sous-marins a amené des modifications assez importantes dans la guerre navale. La présence de cet ennemi invisible a obligé les escadres de haut bord à beaucoup plus de prudence ; il ne faut pas risquer inutilement la vie d'un équipage de plus de 1.000 hommes, sans compter la valeur du cuirassé qui dépasse 60 millions de francs. Les navires de premier rang étant obligés de se mettre à l'abri et ne prenant la mer que rarement, il a bien fallu, malgré tout, tenir la mer ; on a assisté à ce phénomène inattendu : un regain de faveur pour tous les bâtiments secondaires, croiseurs légers, avisos, canonnières, vieux bâtiments démodés, bref, pour tous ces navires que l'on classait, dans les annuaires navals, en queue de liste avec la mention méprisante : sans valeur militaire.

C'est précisément parce qu'ils n'avaient pas de valeur militaire qu'on les recherchait : c'étaient

les seuls bateaux qu'on pouvait hasarder sur mer, avec la certitude que leur perte ne diminuerait en rien la puissance militaire de la flotte. Et c'est pourquoi l'on a pu entendre cette réflexion : que n'avons-nous pas conservé tels bateaux qui ont été condamnés et rayés de la liste de la flotte !

Et c'est ainsi que beaucoup de ces vieux rossignols, de ces vieux rafiaux, comme disent les matelots, qui croupissaient dans les coins les plus reculés des arsenaux, et qui pensaient bien n'en sortir que pour aller à la ferraille, ont repris la mer grâce à cette guerre et, au lieu de s'en aller prosaïquement, morceau par morceau, sous le marteau des démolisseurs, ont vu le feu et ont eu une fin glorieuse.

Malgré ce rappel de la vieille garde à l'activité, le nombre des bâtiments nécessaire pour exercer la police des mers aurait pu être insuffisant : avec les sous-marins, les mines, les pertes sont nombreuses. On a donc été tout naturellement amené à utiliser le sous-marin pour des tâches en vue desquelles il n'avait nullement été construit. Ici, ce n'était pas son invisibilité qui était précieuse, mais bien son invulnérabilité, c'est-à-dire sa faculté de se dérober prestement à l'ennemi par la plongée.

C'est ainsi que dans certains cas on a fait jouer à des sous-marins les rôles d'éclaireur, d'arraisonneur jusqu'alors dévolus soit à des croiseurs, soit à des contre-torpilleurs. En principe, les sous-marins sont mal disposés pour ce genre d'opérations ; néanmoins, l'artillerie dont on les a munis rendait leur utilisation possible, et les plus gros submersibles français, grâce à leur forte flottabilité, leur remarquable tenue à la mer, ont pu s'en acquitter d'une manière très satisfaisante.

C'est ainsi que le danger créé par le sous-marin a contribué, par une sorte de contre-coup, à développer l'emploi du sous-marin lui-même et à lui trouver des utilisations aussi nouvelles qu'imprévues.

CHAPITRE IV

LES MOTEURS DES SOUS-MARINS

On sait que, dans un aéroplane, le moteur à lui seul représente plus de la moitié de la valeur de l'engin. Bien que les moteurs de sous-marins aussi soient très chers, leur prix est loin d'atteindre une fraction aussi considérable du prix total du bâtiment ; mais leur importance reste capitale.

Il s'agit, bien entendu, du moteur de surface, car la dynamo électrique qui conduit l'hélice en plongée est une machine parfaitement étudiée depuis plusieurs années et dont le fonctionnement est des plus sûrs. Sa mise en marche est des plus simples ; il suffit de tourner le volant du rhéostat ou de l'appareil de démarrage plus complexe désigné sous le nom de controller. C'est celui que tout le monde a pu voir sur la plate-forme des tramways électriques, et chacun a pu constater que c'est un outil robuste que l'on peut manier sans trop de ménagements. Les moteurs électriques de sous-marins, à part leur puissance assez élevée, n'ont donc rien de bien spécial. Tout au plus peut-on noter que l'humidité qui règne à bord et qui est produite par la condensation de l'haleine de l'équi-

page est l'ennemie des bons isolements; on est donc obligé, dans la confection des moteurs électriques des sous-marins, aussi bien les moteurs de propulsion que ceux qui conduisent les divers appareils auxiliaires, ventilateurs, pompes, treuils, compresseurs d'air, etc., d'apporter un soin particulier dans le choix des matières isolantes et de proscrire notamment toutes celles qui sont hygrométriques.

Le seul point faible dans la propulsion électrique, ce sont les accumulateurs; malgré les progrès réalisés dans leur confection, peut-être même à cause de ces progrès, ce sont des engins assez fragiles, assez délicats, qui doivent être traités avec ménagements, et dont l'usure est assez rapide. Aussi, un sous-marin, au cours de son existence, use-t-il plusieurs batteries d'accumulateurs, tout comme une machine à vapeur dure assez longtemps pour user plusieurs jeux de chaudières.

La recherche d'un bon moteur de surface était un problème bien autrement difficile, et même maintenant on ne peut considérer le problème que comme partiellement résolu.

Les qualités à réaliser sont multiples : il faut, avant tout, un moteur peu encombrant, car il y a peu de place à bord des sous-marins; il est bon que ce moteur ne soit pas trop lourd, qu'il soit aussi économique que possible; il faut aussi qu'il puisse être mis en marche facilement et rapidement. Enfin, pour pouvoir plonger sans délai, il est indispensable que le moteur puisse être arrêté presque instantanément. Toutes ces conditions principales sont difficiles à réunir dans un même appareil, et il y en a d'autres accessoires, qui ne sont pas à négliger : une marche silencieuse pour ne

pas trahir sa présence la nuit, pas de panache de fumée, pour ne pas être aperçu de jour.

Les premiers sous-marins mixtes ont reçu des moteurs à explosion, analogues à ceux des automobiles, mais de dimensions plus fortes. Tels sont chez nous les vingt sous-marins type *Naïade*. L'appareil était léger, peu encombrant, suffisamment robuste : mais il consommait de l'essence, combustible très volatil et excessivement inflammable. La présence, à bord, d'une matière presque incendiaire, constituait un grave danger; les explosions et incendies qui se sont produits, sinon en France, du moins à l'étranger, ont montré bien vite qu'il fallait renoncer à cette solution, pourtant si séduisante par ailleurs. Aussi les moteurs à essence ont-ils disparu assez vite des sous-marins, et partout on a proscrit les combustibles trop inflammables.

La question en était à ce point à l'époque où Laubeuf construisit le *Narval;* le succès de ce premier submersible a tenu, dans une certaine mesure, à l'adoption de la vapeur pour la propulsion en surface.

Cette solution n'était possible qu'à la condition de brûler du pétrole dans la chaudière; seule la chauffe au moyen d'un combustible liquide permettait l'extinction instantanée des feux, sans laisser, comme avec le charbon, des braises rouges sur la grille, qui auraient dégagé, en plongée, des quantités d'oxyde de carbone.

L'emploi de la vapeur, avec le panache de fumée de la cheminée à peu près inévitable, avec la lenteur du rallumage et surtout de la remontée en pression après la plongée, présentait bien quelques inconvénients. Mais, en revanche, cette solution,

déjà tout étudiée, offrait de précieux avantages : le combustible employé — les résidus de pétrole — était de toute sécurité au point de vue de l'inflammabilité ; il ne présentait pas plus de danger que l'huile. La construction des machines à vapeur, étudiée depuis longtemps, pouvait se faire sans difficultés ; les équipages, familiarisés depuis des années avec ces appareils, n'avaient besoin d'aucun apprentissage pour leur conduite. Enfin ces moteurs à vapeur étaient d'un fonctionnement très sûr. Bref, c'était, tout bien pesé, une excellente solution d'attente, et c'est grâce à elle que la France a eu, dès 1906-1907, sa belle flottille des dix-huit sous-marins type *Pluviôse,* alors que l'étranger ne pouvait rien lui opposer d'équivalent.

Hors de France, la vapeur n'a pas été employée, et lorsque les dangers de la gazoline eurent fait abandonner les moteurs à essence, on chercha à utiliser des moteurs analogues, c'est-à-dire à explosion, avec allumage, mais brûlant un combustible moins inflammable, comme par exemple le pétrole lampant ou le pétrole brut.

Plusieurs types de ces moteurs existaient déjà et étaient employés à terre, notamment dans les exploitations agricoles. Appliqués aux sous-marins ils n'ont pas donné une entière satisfaction. Tout d'abord, ils ne peuvent pas être mis en marche à froid avec le pétrole lourd : le départ doit être fait à l'essence, et c'est seulement lorsque le moteur a tourné quelques minutes avec l'essence et s'est suffisamment réchauffé qu'on peut alimenter au pétrole lourd.

D'autre part, dès qu'on atteint des puissances un peu notables, le fonctionnement laisse à désirer ; il se produit des encrassements des soupapes, des

bougies d'allumage. On a essayé de tourner la difficulté en groupant dans une même machine un grand nombre de cylindres moteurs, chacun ayant individuellement une puissance modérée ; on a vu ainsi des sous-marins posséder jusqu'à trente-deux cylindres moteurs ; mais c'était tourner la difficulté et non la résoudre, car les appareils comprenant un aussi grand nombre d'organes étaient très compliqués et sujets à des avaries fréquentes. Au total, les moteurs à explosion consommant du pétrole lampant manquaient de la qualité essentielle : l'endurance.

C'est pourquoi les diverses marines se lancèrent dans l'emploi du moteur à combustion, ou moteur Diesel. Dans ces appareils, le combustible et l'air ne sont plus mélangés à l'avance pour former un mélange tonnant ; l'air est comprimé seul dans le cylindre, à une pression très élevée, et cette compression suffit à l'échauffer assez pour atteindre le point d'inflammation du combustible ; à ce moment, le pétrole, lui-même sous pression, est injecté dans le cylindre et s'enflamme spontanément et brûle, mais sans faire explosion. On conçoit que l'emploi de ces compressions élevées nécessite des organes exceptionnellement robustes ; par suite, ce type de moteur sera très lourd.

En revanche, l'expérience a montré qu'il possédait un certain nombre d'avantages, uniques, et particulièrement précieux pour un sous-marin.

Le moteur à combustion s'accommode de n'importe quel combustible liquide, il peut brûler aussi bien de l'huile de schiste que du pétrole lampant, du pétrole brut, que des résidus de pétrole, ou même des huiles de houille.

Les gaz d'échappement, quand le moteur est

bien réglé, sont absolument incolores et invisibles. Enfin, de tous les moteurs thermiques connus, c'est de beaucoup celui qui est le plus économique.

En chiffres ronds, le moteur à combustion consomme, par cheval-heure effectif, la moitié de ce que consommerait un moteur à explosion et le tiers de ce que consommerait une machine à vapeur.

Ces divers avantages, le dernier surtout, expliquent pourquoi, peu à peu, le moteur Diesel a rallié tous les suffrages et a été adopté pour les sous-marins par toutes les marines.

Il a d'ailleurs été largement perfectionné depuis ces dix dernières années; on a même réussi, dans une certaine mesure, à atténuer son défaut initial : sa lourdeur. Alors que les premiers moteurs Diesel pesaient 150 à 200 kilos par cheval, on est arrivé progressivement à abaisser ce poids à 40 et même à 30 kilos pour les moteurs à allure rapide. Dans cette voie, un gros allégement a été obtenu par la substitution du cycle à 2 temps au cycle à 4 temps. Dans le cycle à 4 temps, qui est celui de moteurs d'automobiles, il n'y a qu'une course motrice, qu'une seule impulsion du piston tous les deux tours. Dans le cycle à 2 temps, au contraire, il y a une impulsion motrice à chaque tour. Le moteur y gagne en régularité de mouvement, et, en outre, comme on produit dans un même cylindre deux fois plus de travail, le moteur devient moins encombrant et moins lourd. C'est ainsi que l'on a pu abaisser, sur les moteurs à 2 temps, le poids par cheval à 25 et même 22 kilos, tous accessoires compris.

Cette diminution d'encombrement et cet allégement du moteur ont permis d'accroître sensiblement la vitesse en surface des sous-marins.

Mais ce gain semble avoir été acheté au détriment de certaines qualités du moteur à 4 temps. En effet, les moteurs à 2 temps ont une consommation sensiblement plus élevée que celle des moteurs à 4 temps. D'autre part, leur réglage est plus délicat, leur fonctionnement moins bien assuré, et, comme on pouvait s'y attendre, la légèreté ainsi obtenue a nui à la robustesse et à l'endurance. C'est pourquoi l'ancien moteur à 4 temps conserve ses partisans, et peut-être ceux-ci n'ont-ils pas tort. La sagesse semble en effet conseiller de ne pas rechercher de trop grandes vitesses, puisqu'elles ne peuvent être obtenues qu'au prix d'une moindre endurance, et de s'en tenir au moteur lourd à 4 temps.

C'est ce qu'ont fait les Anglais sur tous leurs sous-marins; c'est ce qu'a fait l'Allemagne pour l'énorme majorité de ses submersibles, réservant le moteur à 2 temps pour quelques sous-marins très gros et très rapides, qu'elle possède en petit nombre. Il semble bien d'ailleurs que l'Allemagne n'a pas été très satisfaite de ces moteurs légers à 2 temps, et qu'à la suite d'avaries trop répétées, elle est revenue au cycle à 4 temps.

De toutes façons, le moteur Diesel ne paraît pas, au moins à l'heure actuelle, se prêter à la réalisation pratique des très grandes puissances, nous voulons dire des puissances dépassant 1.000 chevaux par moteur. Si donc on envisage encore la construction de ces sous-marins très gros et très rapides, que nous avons qualifiés de croiseurs sous-marins, il paraît peu prudent de les munir de moteurs Diesel, et il vaut encore mieux, pour ce type de bâtiment, recourir à l'emploi de la vapeur; c'est le seul moyen d'aboutir sûrement.

CHAPITRE V

EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES SOUS-MARINS

Il était naturel que le sous-marin emploie des armes sous-marines; aussi, dès le début, les inventeurs ont-ils imaginé de faire porter au bâtiment des charges explosives pour les déposer soit contre les coques, soit dans le voisinage des coques ennemies. L'effet destructeur d'une charge donnée est beaucoup plus considérable lorsque l'explosion se produit sous l'eau, que lorsqu'elle a lieu à l'air libre; la chose se conçoit aisément : la masse d'eau forme bourrage. Mais ce procédé d'attaque, qui était analogue aux torpilles portées des premiers torpilleurs, était peu pratique. Il fallut l'invention de la torpille automobile, pour que le sous-marin devînt vraiment redoutable.

La torpille automobile, due à l'Anglais Whitehead, est une sorte de petit sous-marin en réduction, sans équipage, et mû par l'air comprimé. C'est un véritable chef-d'œuvre de mécanique qui a été porté progressivement au plus haut degré de perfection. Le corps de la torpille a, comme les

sous-marins, la forme d'un cigare, plus pointu à l'arrière et renflé à l'extrémité avant où se trouvent la charge de poudre et son détonateur. Toute la région du milieu est occupée par le réservoir en acier embouti, dans lequel on emmagasine de l'air comprimé jusqu'à la pression de 180 atmosphères. Sur l'arrière du réservoir se trouve le moteur à air comprimé, très ramassé, très tassé, et qui, malgré ses dimensions restreintes, arrive à développer plus de 100 chevaux. Cette puissance énorme, appliquée à un engin aussi petit, lui imprime, sinon une vitesse de projectile, de moins une vitesse très notablement supérieure à celle des bâtiments les plus rapides. Certaines torpilles récentes filent plus de 50 nœuds pendant les mille premiers mètres de leur trajectoire.

La torpille automobile comporte, en outre, de très nombreux mécanismes de réglage dont le but est d'assurer la rectitude de sa trajectoire, aussi bien en profondeur qu'en direction, et de régler son immersion à une valeur convenable, pour que la torpille vienne frapper les coques au point le plus vulnérable. Ces mécanismes, aussi ingénieux que compliqués, utilisent les appareils de physique connus sous le nom de piston hydrostatique, pendule et gyroscope. L'utilité de ces appareils, et tout particulièrement celle du gyroscope, qui n'est qu'une application des théories de Foucault, s'est accrue depuis que les portées des torpilles elles-mêmes ont augmenté. Une trajectoire un peu sinueuse ou légèrement courbe n'entraîne, en effet, qu'un écart insignifiant au but, si celui-ci est à 400 ou 500 mètres. Si la distance est plus considérable et atteint 1.000, 2.000, 3.000 mètres, ces écarts se trouvent amplifiés énormément, et la

moindre déviation initiale fait passer la torpille très loin du but. Or, les portées des torpilles ont reçu un accroissement considérable, dans ces dernières années, grâce au progrès de la métallurgie, qui a fourni pour les réservoirs d'air comprimé des aciers plus résistants, et grâce également à une meilleure utilisation de cet air comprimé dans des moteurs perfectionnés.

Cette augmentation de rendement a été obtenue, comme dans les tramways à air comprimé, par le réchauffage préalable de l'air comprimé. Aussi, alors que les premières torpilles était à bout de course lorsqu'elles avaient franchi 1.000 ou 1.200 mètres au maximum, on en construit couramment maintenant qui peuvent parcourir 5.000 à 6.000 mètres, et on envisage même des portées de 10.000 mètres.

Ces grandes portées ne sont d'ailleurs pas utilisées sur les sous-marins; à ces grandes distances le tir devient très incertain, et on serait exposé à gaspiller sans effet les torpilles. Un sous-marin qui ne porte qu'un nombre limité de ces précieux engins (une torpille de gros modèle vaut plus de 15.000 francs: elle peut détruire, il est vrai, un cuirassé de 75 millions, c'est-à-dire représentant 5.000 fois sa valeur) doit forcément en être économe; il devra donc les lancer d'aussi près que possible, et, comme il est protégé à la fois par son invisibilité et par la couche d'eau qui le recouvre, il pourra généralement se rapprocher beaucoup du but sans courir de danger.

La torpille automobile ne doit pas seulement être construite, comme tous les projectiles, avec la plus haute précision, il faut en outre, en raison de la multiplicité et de la complexité de ses méca

nismes, qu'elle soit entretenue dans un état parfait de conservation : elle exige, pour cela, des soins minutieux. C'est, comme nous l'avons fait remarquer, un sous-marin complet avec son moteur, ses réservoirs, ses hélices, ses gouvernails de plongée et de direction ; chacune de ces pièces doit être maintenue parfaitement graissée, ce qui entraîne de fréquents démontages, et, après chaque démontage, un réglage d'ensemble des mécanismes est indispensable. Une torpille mal réglée perd en effet de sa valeur comme arme, et peut même devenir dangereuse pour le bâtiment qui la lance. Les défauts de réglage, en ce qui concerne l'immersion, se traduisent par une marche désordonnée de l'engin qui fait une série de bonds, rappelant ceux des marsouins, remontant en surface (affleurement), puis plongeant profondément, pour venir l'instant d'après de nouveau à fleur d'eau. Parfois, dès le départ, la torpille pique du nez et se perd au fond de la mer. Plus dangereux sont les déréglages en direction (gyroscope) : la trajectoire n'est plus droite, mais recourbée, parfois brisée (trajectoire en baïonnette) ; on a même vu, dans des exercices, des torpilles décrire un cercle de rayon assez faible pour qu'il se ferme en revenant passer au point de départ.

La charge de poudre des torpilles, dont le poids dépasse 100 kilos, est constituée généralement par du fulmicoton. Cet explosif a le double avantage d'une puissance destructive très élevée et d'une conservation facile. Le coton-poudre, en effet, à condition d'être gardé avec un certain degré d'humidité, ne s'altère pas et peut être manipulé sans danger. La présence de quelques pour-cent d'eau ne diminue pas sensiblement sa force explosive.

On a essayé aussi de substituer au fulmicoton la mélinite, qui donne la même sécurité et qui est plus dense. Les Allemands emploient une substance analogue, c'est-à-dire encore un dérivé nitré du goudron, appelé tolite ou trinitrotoluol. Les effets de la tolite, d'après des expériences effectuées en France, se seraient montrés peut-être un peu plus énergiques que ceux du fulmicoton, mais la différence est peu considérable.

APPAREILS LANCE-TORPILLES

Les torpilles sont lancées au moyen d'un tube dans lequel une chasse d'air comprimé ou l'explosion d'une petite charge de poudre projette la torpille en avant. Dans ce mouvement, un levier mobile, placé sur le dos de la torpille, rencontre un butoir fixé sur le tube et est rabattu. Ce levier manœuvre le robinet d'air comprimé, et la torpille se met en marche. On voit donc, à la différence des canons, qu'ici les gaz de la poudre ou l'air comprimé n'interviennent que pour donner à la torpille une légère impulsion initiale ; mais c'est l'hélice qui la conduit au but.

Ces tubes sont généralement disposés parallèlement à l'axe du bâtiment et placés presque toujours à l'avant; on en met quelquefois aussi un ou deux à l'arrière pour le cas où le sous-marin n'aurait pas le temps d'évoluer assez vite pour présenter son avant vers le but.

Ces tubes ont un fonctionnement très sûr. Ils permettent en outre de lancer successivement plusieurs torpilles. L'opération du rechargement du

tube est cependant plus compliquée et plus longue que pour un canon. En effet, avant d'ouvrir la culasse, il faut d'abord fermer le capot avant du tube pour l'isoler de la mer et ensuite vidanger l'eau de mer qui le remplit; ensuite, l'opération qui consiste à enfourner la torpille dans le tube est assez délicate, car il s'agit de manier une masse de plus de 700 kilogs [1] et de 6 mètres de longueur. Les sous-marins possèdent généralement, indépendamment de la torpille placée d'avance dans le tube, deux, trois ou quatre torpilles de réserve à l'intérieur du bâtiment.

L'inconvénient de ces tubes d'axe, et d'une manière générale des tubes fixes, c'est qu'il faut pointer avec le sous-marin lui-même, et, dans certains cas, la durée de l'évolution peut être assez longue pour que l'ennemi échappe. C'est pour abréger cette durée que l'on emploie les tubes tirant sur l'arrière dont nous avons parlé et qu'on a installé aussi des tubes tirant par le travers. Ces derniers appareils ont un tir moins précis que les appareils d'axe; en effet, la torpille, à la sortie du tube, rencontre des filets d'eau qui, en vertu de la vitesse du sous-marin, lui donnent une impulsion transversale, et il est assez difficile de combattre cette déviation. En outre, ces tubes du travers sont d'un maniement beaucoup plus compliqué.

La France est, avec quelques petites nations étrangères et la Russie, le seul pays où l'on ait fait usage d'appareils lance-torpilles placés à l'extérieur de la coque. L'étranger, avec raison peut-être, est peu favorable à ces appareils, auxquels il reproche

(1) Le poids des torpilles de 533 millimètres de diamètre dépasse même 1.000 kilos.

de laisser en tout temps la torpille exposée à la mer. En revanche, comme on dispose de beaucoup plus de place disponible à l'extérieur, dans les superstructures, qu'à l'intérieur du sous-marin, l'emploi de ces appareils nous a permis de doter nos submersibles, à tonnage égal, d'un armement beaucoup plus puissant que l'étranger. C'est ainsi que nous avons pu placer jusqu'à dix appareils lance-torpilles sur des sous-marins de tonnage modéré, alors qu'à l'étranger on ne paraît pas avoir dépassé le chiffre de six appareils sur les plus gros sous-marins. Les appareils extérieurs ont en outre l'avantage de donner la solution du tir avec pointage variable, dont l'intérêt saute aux yeux.

Ces appareils, que nous ne saurions décrire ici, reposent sur le principe suivant : la torpille, placée à l'extérieur d'un sous-marin en plongée, se trouve d'avance immergée ; il devient donc inutile de la lancer ; il suffit de la mettre en marche, en ouvrant le robinet d'air comprimé du moteur : les hélices tournent, la torpille file, comme une flèche, dans la direction même où elle se trouvait au moment du départ.

Qu'on imagine donc une torpille retenue par sa queue au moyen d'une charnière qui la laisse libre de pivoter autour d'un axe vertical ; si, pendant ce mouvement, un appareil à déclenchement libère simultanément la queue de la torpille et rabat le levier de prise d'air, la torpille partira aussitôt, en conservant sa direction.

On fera varier le pointage, en produisant automatiquement ce déclenchement dans l'azimut que l'on désire.

MINES

Les mines sous-marines peuvent être considérées également comme l'arme de l'une des catégories de sous-marins. Ces mines, en elles-mêmes, ne diffèrent pas des mines ordinaires mouillées par les bâtiments de surface. Mais elles portent quelques dispositifs additionnels nécessités par les conditions particulières de leur mise à l'eau. Notamment, elles ne doivent pas remonter en surface au moment du mouillage, ce qui exige l'emploi de régulateurs d'immersion fondés sur un principe différent de celui des mines ordinaires.

D'autre part, les dispositifs de sécurité destinés à empêcher la mine d'être offensive, c'est-à-dire susceptible d'exploser avant qu'un certain temps se soit écoulé après le mouillage, doivent être spéciaux. La plupart des dispositifs de ce genre, utilisés sur les mines ordinaires, reposent en effet sur l'emploi de cylindres de sels solubles, qui fondent peu à peu dans l'eau de mer. Comme les mines de sous-marins sont en tout temps immergées, il est clair que ce procédé ne saurait être employé; on y supplée par d'autres appareils variés, sur lesquels chaque nation conserve le secret le plus absolu.

ARTILLERIE DES SOUS-MARINS

Il n'y a pas plus de quatre ou cinq ans que l'on a doté les sous-marins de canons. Ces bâtiments, conçus pour attaquer les cuirassés, ne pouvaient en effet pas tirer grand parti d'une ou deux pièces

d'artillerie de petit calibre. Tout au plus envisageait-on ces petits canons comme une arme défensive, pour le cas où le sous-marin serait surpris en surface par un torpilleur, sans avoir le temps de plonger. De toute façon, le sous-marin ne peut se prêter à l'installation d'une artillerie un peu puissante, soit par le nombre, soit par le calibre des bouches à feu.

Mais l'emploi qu'ont fait les Allemands du sous-marin pour la guerre de course devait forcément élargir le rôle assigné au canon sur les sous-marins.

Actuellement, tous les sous-marins reçoivent une artillerie plus ou moins développée, selon le disponible de poids dont on dispose.

En tout cas, on installe des pièces légères pouvant tirer presque verticalement ; ce sont les canons contre avions, indispensables maintenant que le sous-marin peut rencontrer ce nouvel ennemi pour lequel il n'a plus l'avantage de l'invisibilité.

Des pièces d'un calibre un peu plus fort, et naturellement à tir rapide, sont installées dès que le tonnage du sous-marin le permet, dans le but de pouvoir, non pas couler les bâtiments de commerce comme le font les Allemands, mais les arrêter par un coup de semonce, s'ils n'obéissent pas à la première injonction. Ces pièces servent en outre à combattre les sous-marins ennemis, si l'on arrive à les rencontrer lorsqu'ils sont en surface.

Enfin, dans certains cas, on a employé des pièces atteignant jusqu'à 100^{mm}, pour effectuer de bombardements sur les côtes. De tels bombardements ont surtout un effet moral ; il ne faut pas se dissimuler que leur efficacité matérielle sera toujours assez faible. Déjà le bombardement, par des

bâtiments de surface, est une opération très dispendieuse, et dès qu'on s'attaque non plus à des villes ouvertes, mais à de solides ouvrages de fortification, on est obligé, pour les détruire, de dépenser une quantité de munitions énorme. A plus forte raison le sous-marin, qui a au plus un ou deux canons de petit calibre, avec un approvisionnement de munitions forcément réduit, pourra-t-il difficilement obtenir des résultats appréciables.

Néanmoins, comme il peut, grâce à la plongée, passer là où les bâtiments de surface ne sauraient aller, son emploi pour le bombardement des côtes peut être utile dans des cas très particuliers comme par exemple celui de la mer de Marmara.

CHAPITRE VI

LES MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES SOUS-MARINS

Après la déclaration des Allemands de leur intention de développer la piraterie sous-marine, sans aucun égard pour le droit des gens, sans faire de distinction entre les belligérants et les neutres, on s'est efforcé de rassurer l'opinion publique, trop facilement effarouchée par ce mot de blocus sous-marin, en lui donnant des statistiques.

Les chiffres montrent, en effet, que les pertes éprouvées depuis le début de la guerre par les marines marchandes, du fait des torpillages et des mines, sont très minimes, eu égard au tonnage total de la flotte commerciale; que ces pertes ont été compensées dans une très large mesure par la construction de nouveaux bâtiments, poussée avec activité et stimulée par l'appât du gain que procure la hausse des frets; on en conclut que, si même les Allemands arrivaient à accroître le nombre des bâtiments coulés, s'ils le doublaient, ils seraient encore très loin d'atteindre leur but qui est d'affamer les Alliés. Ces considérations sont parfaitement exactes; mais, présentées seules, elles

ont le tort de laisser croire que les Alliés sont désarmés contre la guerre sous-marine, et que c'est un mal nécessaire, inévitable. Or, il est bon que l'on sache que la lutte contre le sous-marin, pour difficile qu'elle soit, n'en est pas moins possible et peut atteindre une efficacité certaine.

Ces moyens de protection et de lutte sont nombreux; nous nous proposons d'en donner un aperçu succinct.

Il y a, d'abord, les moyens strictement défensifs : il faut que la sécurité des bâtiments de guerre ou de commerce, dans les rades les plus fréquentées, soit entièrement assurée. C'est relativement aisé, par l'emploi d'escadrilles de bâtiments légers qui patrouillent dans les environs du port et, en outre, par les barrages en filets d'acier.

Ces barrages peuvent être installés assez facilement tant qu'il n'y a pas de courants sous-marins trop violents. Les sous-marins les franchissent très difficilement, et surtout ils courent le risque, s'ils ont réussi à percer le filet, de s'empêtrer dans ses mailles, qui s'accrochent à toutes les saillies ou aspérités de la coque, et d'être en quelque sorte pris au piège. Le filet, d'autre part, paraît exercer sur le sous-marin allemand une sorte d'action morale. Avec leur espionnage si développé, il ne fait guère de doute que les Allemands sont informés avec précision de tous les endroits où de tels barrages ont été établis, et, en conséquence, ils les évitent prudemment :

« La crainte du filet est le commencement de la sagesse. »

En fait, je crois qu'on ne pourrait pas citer un seul exemple de sous-marin ennemi ayant tenté de franchir nos barrages; ce sont des prouesses

auxquelles seuls se hasardent les sous-marins alliés.

Les sous-marins, avons-nous dit, emploient aussi comme arme la mine sous-marine. Dans ce cas encore, nous avons indiqué comment on pouvait éviter le danger par des dragages répétés.

Pour assurer la protection des bâtiments en haute mer, d'autres moyens sont nécessaires.

Il y a lieu d'observer que la majeure partie des bâtiments torpillés sont des navires à allure lente ; un bâtiment rapide offre à la torpille une cible beaucoup plus difficile à atteindre et a, par suite, beaucoup plus de chances d'échapper qu'un autre. On pourra donc, dans les cas importants comme celui des transports de troupes, en se servant de navires rapides, leur donner une certaine sécurité qui sera accrue encore si on les fait convoyer par des contre-torpilleurs et si l'on fait usage de la navigation de nuit, tous feux extérieurs éteints.

La sécurité ainsi obtenue n'est pas absolue; néanmoins, c'est par ces procédés, ou des procédés analogues, que l'Angleterre a réussi à transporter sur le continent une armée de plusieurs millions d'hommes, sans aucun incident.

L'armement des bâtiments de commerce est enfin le procédé défensif complémentaire le plus indiqué. C'est à dessein que nous rangeons cet armement parmi les moyens de défense, car personne ne voudra admettre la thèse insoutenable des Allemands que la présence d'un canon sur un bâtiment marchand a un caractère offensif et donne le droit au sous-marin de le traiter comme un bâtiment de guerre. Cet argument a, dans la bouche des Boches, la même valeur que celui du renard affirmant que c'est le lapin qui a commencé.

Ces prétentions allemandes n'ont pour nous que la valeur d'un renseignement ; les efforts répétés de leur diplomatie pour persuader les neutres d'interdire l'accès de leurs ports aux navires marchands armés prouvent, en effet, à quel point cet armement les gêne.

La statistique confirme la chose, d'ailleurs : alors que, sur cent navires non armés, une vingtaine à peine réussissent à échapper aux sous-marins, sur cent navires armés, plus des deux tiers s'en tirent indemnes, plusieurs même ont réussi à détruire leur agresseur. C'est donc la preuve directe de l'efficacité de cette mesure qui s'imposait à la suite des attentats allemands.

Mais puisque cet armement des navires de commerce est strictement défensif, c'est-à-dire puisqu'ils ne doivent en faire usage qu'après avoir été attaqués ou menacés, il est nécessaire d'avoir aussi des navires combattant les sous-marins et s'efforçant de leur rendre intenables, sinon les profondeurs de la mer, du moins toute l'étendue de sa surface. Comme le sous-marin ne peut pas rester indéfiniment en plongée, qu'il lui faut absolument revenir en émersion, tant pour renouveler son air respirable que pour recharger ses accumulateurs, on doit pouvoir profiter de ce moment pour atteindre ce gibier insaisissable.

C'est, en somme, ce que font les chasseurs de loutres : ils ne peuvent tirer sur l'animal tant qu'il se dissimule sous l'eau, mais ils attendent patiemment qu'à bout de souffle il remonte à la surface, et, dès que son museau apparaît sur l'eau, un coup de fusil le tue.

Pour agir de même avec les sous-marins, il faut un nombre excessivement considérable de navires

armés, qui sillonnent constamment tous les parages où les sous-marins peuvent fréquenter; il ne faut pas qu'il y ait sur mer des zones un peu étendues non gardées, où le sous-marin pourrait revenir la nuit en surface et recharger ses batteries, tout à loisir, sans être inquiété. Fort heureusement, pour remplir ce rôle de patrouilleur de l'Océan, un très grand nombre de bâtiments peuvent être employés utilement; sans doute, les torpilleurs d'escadre, certains avisos, doués d'une grande vitesse et munis d'une artillerie à tir rapide très nombreuse, constituent-ils le meilleur type de patrouilleurs. Mais ni une grande vitesse ni un armement très puissant ne sont absolument indispensables. La seule condition essentielle est que le bâtiment soit marin, qu'il puisse tenir la mer par tous les temps. Il faut, en effet, que cette surveillance qu'il doit exercer ne s'arrête à aucun instant; il doit veiller de jour comme de nuit, par temps calme comme au milieu de la tempête : tâche très rude pour les équipages et les états-majors, qui sont rapidement exténués au bout de quelques mois de cette existence sans repos.

Mais par ailleurs, un bateau presque quelconque fera l'affaire; d'anciens torpilleurs, des canonnières, voire même de petits bâtiments de commerce ou des navires de pêche à moteur : il suffit de les munir de deux canons et d'un équipage déterminé. A cet égard, les bâtiments de pêche à vapeur, les chalutiers, à part leur vitesse quelquefois un peu faible, sont parmi les meilleurs patrouilleurs. Ce sont des navires robustes, dont les machines, peu puissantes et faites pour être mises entre les mains de gens qui ne sont pas du métier, n'ont pour ainsi dire jamais d'avaries; ils

ont enfin des murailles hautes, surtout à l'avant, qui leur permettent de résister aux coups de mer les plus furieux.

Ces patrouilleurs ont trouvé, d'ailleurs, dans les hydravions et les ballons dirigeables des auxiliaires précieux, et la coopération de ces forces aériennes et navales augmente beaucoup leur efficacité.

Le sous-marin, en effet, n'est invisible en plongée que pour un observateur placé assez près du niveau de l'eau. Dès qu'on s'élève, par exemple dans les hunes d'un mât, la visibilité sous-marine devient meilleure, les rayons visuels commencent à pénétrer au-dessous des flots. Plus haut encore, d'un avion, la mer apparaît presque transparente, et l'œil y découvre tous les objets, même à une assez grande profondeur.

Puisque les navires sont presque aveugles à l'égard du sous-marin, l'hydravion ou le ballon dirigeable sera leur œil ; mais le rôle de l'aviation maritime, dans la lutte contre le sous-marin, ne se borne pas à découvrir l'ennemi invisible et à signaler sa présence. Les hydravions sont des engins offensifs véritables. Ils peuvent porter des bombes spéciales, assez puissantes et réglées de manière à ne faire explosion que lorsqu'elles ont atteint une certaine profondeur dans l'eau. Ces bombes agissent donc comme de petites mines sous-marines ; la commotion qu'elles donnent à l'eau environnante en éclatant est assez forte pour produire des avaries majeures à un sous-marin, même si elles ne se trouvent pas en contact direct avec sa coque. D'ailleurs, nos aviateurs, pour être plus sûrs d'atteindre avec leurs projectiles l'étroite cible que leur offre le sous-marin, n'hésitent pas à redescendre des hauteurs où ils planaient : ils fon-

dent en quelque sorte sur leur proie, comme l'aigle qui a aperçu un mouton dans la plaine, et ils bombardent le sous-marin à courte distance : opération qui exige de la part du pilote beaucoup de sang-froid et plus encore, peut-être, d'adresse, mais qui a été plusieurs fois couronnée d'un plein succès.

Les ballons dirigeables, avec leur masse imposante, ne peuvent évidemment pas se permettre de pareilles acrobaties ; mais en revanche ils ont, sur le plus lourd que l'air, l'avantage de pouvoir ralentir leur vitesse autant qu'ils le désirent ; ont-ils aperçu un sous-marin, ils peuvent le survoler et, après quelques tâtonnements, arriver à régler exactement leur vitesse sur la sienne. Et alors le sous-marin est soumis à un supplice terrible ; il a aperçu l'ennemi aérien, il plonge profondément, évolue, décrit des cercles compliqués, puis, quand il croit avoir dépisté définitivement son adversaire, il revient plus près de la surface et inspecte le ciel avec son périscope : le dirigeable est toujours au-dessus de lui ; il ne l'a pas quitté, comme s'il lui était rattaché par un câble invisible ; et ce petit jeu se poursuit, énervant, affolant l'équipage du sous-marin, jusqu'au moment où le dirigeable, jugeant le moment favorable, laisse tomber ses grenades, avec une précision d'autant plus grande que sa vitesse est plus faible.

Il y a enfin d'autres manières d'attaquer les sous-marins, certains journaux y ont fait allusion ; mais le moment n'est pas encore venu de faire connaître ces procédés secrets, pas plus qu'Édison ne publiera la nouvelle invention qu'il a proposée dans le même but au Gouvernement de la Maison-Blanche.

Qu'il suffise au lecteur de savoir à ce sujet la seule chose qui, au fond, lui importe : c'est que par ces procédés, non encore dévoilés, beaucoup de sous-marins allemands ont été envoyés par le fond.

Si l'on fait maintenant la synthèse de toutes ces méthodes de destruction des sous-marins, de tous ces pièges qu'on peut leur tendre, de toutes ces façons de les attaquer, on peut se rendre compte, d'après les résultats déjà obtenus, qu'il suffira de les développer un peu plus pour rendre la mer tout à fait intenable à l'ennemi sous-marin.

Trop de dangers le menaceront, pour ainsi dire à chaque tour d'hélice, trop de risques seront à courir, trop de sinistres le décourageront, sans compter que toute l'activité des chantiers de construction allemands ne suffira pas à compenser les pertes que nous infligerons à leurs bâtiments.

Et ce jour-là, les Allemands en seront réduits à avouer la faillite du blocus sous-marin, en la déguisant sous de faux airs d'humanité, comme ils ont avoué la faillite des zeppelins après qu'on leur en eut démoli une demi-douzaine en quelques jours.

Mais en terminant, il est bon d'insister sur le rôle important que joue la surveillance des côtes dans cette lutte. Sans doute, avec leurs soutes à pétrole complètement remplies, et en naviguant à petite vitesse, les sous-marins peuvent rester éloignés plus d'un mois de leur base ; mais on ne vit pas de pétrole seulement. Le ravitaillement est indispensable : que ce soient des vivres, des munitions, voire même un abri qui leur procurera quelques heures de tranquillité et par suite de repos, les sous-marins ont besoin périodiquement d'aller chercher cela sur des côtes où ils se sont

ménagé des intelligences. Ce ravitaillement les aide puissamment.

Empêcher ce ravitaillement est donc une partie essentielle de la lutte contre le sous-marin. Il faut se défier des côtes désertes, des havres abandonnés, des îles si nombreuses en certains parages. Il faut tout inspecter. Malheureusement, nos pouvoirs s'arrêtent à la limite des eaux territoriales des neutres. C'est pourquoi il faut souhaiter que ces nations aient de plus en plus de vigilance, pour garder leur neutralité, en s'assurant que leurs côtes ne sont pas subrepticement utilisées par l'ennemi. Et fort heureusement, la politique allemande a fait tout ce qu'il fallait pour que les neutres comprennent la nécessité, pour eux, d'exercer ce contrôle.

CHAPITRE VII

LES EXPLOITS DES SOUS-MARINS ALLIÉS

La marine de l'Entente a joué depuis le début de la guerre un rôle capital, en nous assurant la maîtrise de la mer et en isolant ainsi les Empires centraux. Puisque, à de rares exceptions près, la flotte de haute mer allemande ne se risque pas à affronter les escadres britanniques et reste terrée, si l'on peut dire, dans ses ports, au fond de rades profondes, à l'abri de triples rangs de mines et de barrages, on ne peut pas espérer que ce soit la marine, à elle seule, qui assure la décision finale ; mais dans l'accomplissement de cette tâche gigantesque qu'est l'anéantissement de la puissance militaire austro-allemande, la part qui reviendra à nos flottes sera considérable. En bloquant les empires de proie, en leur coupant tout ravitaillement extérieur, elle aura puissamment contribué à gêner la production industrielle de l'Allemagne ; en lui interdisant toute exportation, elle aura fait plus que tous les emprunts successifs de M. Hellferich pour abaisser le change du mark ; enfin, en amenant le rationnement de plus en plus étroit de la population germanique, elle aura puissamment contribué à affaiblir sa résistance morale et même sa résis-

tance physique. Mais ce rôle, si important, accompli au prix d'efforts soutenus, semble malgré tout peu glorieux, comparé à celui des armées de terre ; les batailles navales sont trop rares. Disons le mot, ce rôle paraît ingrat ; cela tient à la trop grande supériorité de nos forces navales. En marine, plus encore que sur terre, le matériel est presque tout ; certes, l'initiative, les qualités manœuvrières peuvent suppléer dans une certaine mesure et momentanément à une légère infériorité matérielle ; elles ne sauraient compenser la supériorité écrasante que nous possédons, nos Alliés et nous, en bâtiments de guerre de toute espèce et en canons. Dans ces conditions, l'Allemagne refuse systématiquement le combat ; et il faut avouer que c'est ce qu'elle a de mieux à faire. Si par hasard elle exécute une sortie, c'est moins dans un but militaire que pour donner une apparence de satisfaction à l'opinion publique qui réclame pour que la flotte allemande fasse parler d'elle, et ces sorties se terminent piteusement.

La tâche de la marine consiste donc à monter la garde autour des côtes ennemies et à exercer la police des mers, où ne se risque d'ailleurs aucun bâtiment de surface allemand ou autrichien. Tâche pénible, très dure et rendue particulièrement dangereuse, non seulement par les sous-marins, mais encore par les mines que les Boches sèment un peu partout, sans se soucier plus des prescriptions formelles de la conférence de La Haye que de leur premier chiffon de papier. Mais tâche peu brillante.

En outre, ce qui contribue encore davantage à faire paraître terne le rôle de nos marins, c'est la sobriété voulue des communiqués de la marine, on pourrait presque dire le mystère dont on est

obligé d'entourer, de voiler leurs prouesses les plus glorieuses.

Que de faits d'armes admirables sont restés inconnus ou simplement anonymes... Mais voilà, nous sommes entourés d'une nuée d'espions réfugiés dans les pays neutres; et il est indispensable en marine, au moins autant si ce n'est plus qu'à l'armée, de tenir secrets les mouvements de navires; il faut à tout prix éviter de renseigner nos ennemis.

Il est donc beaucoup moins aisé de raconter les hauts faits de nos sous-marins que ceux de nos poilus. Et, en le faisant, il sera nécessaire d'observer une discrétion particulière.

LES SOUS-MARINS DANS LA MER DE MARMARA

Les Dardanelles sont plus qu'un détroit, un véritable canal de 65 kilomètres de longueur, et dont la largeur totale s'abaisse, en deux étranglements, à moins de 1.800 mètres. Forcer un tel passage avec des sous-marins était une entreprise extrêmement hardie, aventureuse même en raison des difficultés de toutes sortes échelonnées le long de ce parcours. Le trajet devait être obligatoirement effectué en plongée complète, et même, à cause des batteries ennemies dissimulées le long des deux rives, il était nécessaire de ne faire émerger le périscope que pendant de courts instants, juste le temps de rectifier sa route pour éviter l'échouage. La difficulté de la navigation était encore accrue par les courants très forts dont la vitesse atteint plusieurs nœuds, et qui rendent ce

passage tout à fait analogue à un fleuve profond. Il fallait éviter les mines sous-marines ou flottantes répandues à profusion. Des barrages en filets extrêmement solides semblaient enfin opposer au passage des sous-marins un obstacle infranchissable.

Ces difficultés ne firent que stimuler l'ardeur entreprenante des commandants des navires français et britanniques, qui allèrent jusqu'à solliciter, avec insistance, le périlleux honneur que leurs chefs ne croyaient pas prudent de leur accorder.

On a su comment quelques-uns des sous-marins français qui s'aventurèrent dans l'étroit goulet, après avoir traversé la plus grande partie des barrages, furent arrêtés par les suivants ; pour l'un de ces sous-marins, il semble bien qu'en voulant éviter une zone minée il fut obligé de s'écarter un peu trop du chenal navigable et, drossé par le courant, il vint s'échouer sur un haut-fond ; pour l'autre, un doute plane sur les causes de son échec : a-t-il été arrêté par un filet qu'il n'aurait pas pu traverser complètement et qui, s'accrochant à ses flancs, à ses gouvernails, aurait paralysé ses mouvements ; ou bien n'est-ce pas simplement une avarie grave survenue à sa machinerie, pendant qu'il plongeait profondément pour passer au-dessous d'un barrage, qui l'aurait obligé à remonter en surface et aurait causé sa perte ? on ne sait ; mais ces deux incidents montrent bien toute la difficulté de l'opération. Ces insuccès n'ont nullement diminué l'ardeur entreprenante des autres sous-marins. L'opération était grosse de risques ; les commandants se refusèrent à voir toutes les chances qu'ils avaient d'échouer ; n'y aurait-il eu qu'une seule chance de succès, ils voulaient la courir ; et c'est ainsi qu'en renouvelant

ces tentatives, plusieurs réussirent à pénétrer dans la mer de Marmara. Au prix de quels efforts surhumains, on s'en fera une idée, en se rappelant que les barrages établis, au début, avec des filets légers, souvent même en simples cordages, avaient été progressivement renforcés par les Turcs, avec des câbles en acier et même des chaînes. Ces barrages, solidement ancrés, descendaient profondément au-dessous de la surface, on a même dit jusqu'à 50 mètres de profondeur. Les sous-marins qui les ont traversés étaient-ils armés de couteaux aiguisés ou de puissantes cisailles capables de couper les chaînes, ou bien s'enfonçaient-ils jusque dans les abîmes pour passer au-dessous du filet, au risque de voir leur coque écrasée par la pression? c'est là leur secret. Mais le fait est là : ils ont passé.

Et une fois dans la bergerie, c'est la mer de Marmara que je veux dire, ces loups y restaient le plus longtemps possible, jusqu'à ce qu'ils aient épuisé, non pas leurs provisions, mais leurs munitions.

C'est en effet un des côtés les plus pittoresques de ces raids audacieux de sous-marins, que ces séjours de plus d'une semaine dans une mer fermée, où ils menaient une vie de Robinson ou de corsaire, dans laquelle on retrouve la marque très nette du caractère sportif anglais. Manquaient-ils de vivres, ils arrêtaient une barque chargée de provisions, se faisaient livrer légumes, fruits et victuailles, puis, après avoir passé l'inspection de la barque, ils la laissaient aller. Conduite bien différente de celle des pirates allemands.

Mais ces manières de gentlemen n'excluaient pas l'audace, ils l'ont bien montré en s'aventurant jusque dans Constantinople, à l'entrée de la Corne

d'Or, pour y faire sauter des transports à l'ancre dans le port, et même endommager le pont de Galata.

Ils ne se bornaient pas d'ailleurs uniquement à des opérations purement maritimes. Utilisant les canons, déjà d'assez gros calibres, dont ils sont munis, à différentes reprises des sous-marins anglais ont bombardé le chemin de fer dans les parties où il est assez rapproché de la côte, afin de gêner le ravitaillement des troupes turques de la presqu'île de Gallipoli.

On prétend même qu'ils poussèrent l'audace jusqu'à exécuter des opérations à terre. Un officier avec quelques hommes se serait fait déposer sur le rivage, avec une charge détonante et, se dissimulant dans la brousse, ils seraient allés porter l'explosif jusqu'à un ouvrage d'art de la ligne de chemin de fer, relativement éloigné de leur point de débarquement. Puis, surpris au moment où ils allaient faire sauter le pont ou le tunnel, ils s'enfuient, se cachent, reviennent au rivage, et sous la fusillade se jettent résolument à la mer pour regagner leur sous-marin à la nage. N'est-ce pas là un véritable roman de Rudyard Kipling, mais un roman vécu ?

Ces prouesses n'ont pas seulement rapporté une gloire bien méritée à ces vaillants marins, elles ont eu des résultats concrets : indépendamment même de l'impression de terreur causée à Constantinople, des quantités de transports ont été coulés, toute navigation a été pratiquement interrompue dans la mer de Marmara.

LES SOUS-MARINS DANS LA BALTIQUE

Autant qu'on en peut juger, l'entrée des sous-marins anglais dans la mer Baltique répondait à deux objectifs : gêner le plus possible la navigation allemande qui ravitaillait les Empires centraux par la Suède, en important principalement du minerai de fer, et aussi un peu de cuivre, fournir à la marine russe l'appoint de quelques unités sous-marines de plus, dont le concours s'est montré très utile dans les opérations heureuses réalisées dans le golfe de Riga en liaison avec l'armée de terre.

La traversée des détroits, Sund, Grand et Petit-Belt, présentait donc un intérêt de premier ordre.

Si la mer Baltique n'est pas fermée, comme la mer de Marmara, par un goulet long et étroit, les difficultés de ce passage n'étaient pas beaucoup moindres.

D'abord, au lieu d'avoir affaire à une marine de guerre à peu près inexistante comme celle de la Turquie, on se trouvait presque à la limite des eaux allemandes, dans une région constamment parcourue, gardée par des patrouilles de torpilleurs, contre-torpilleurs, ballons dirigeables et avions allemands. En second lieu, si les passes étaient moins étroites et moins longues, les courants moins violents, le manque de profondeur de la mer rendait la navigation tout aussi difficile.

De ces détroits, celui dont le passage est le plus commode et qui était toujours utilisé par les grands bâtiments en temps de paix, le Grand-Belt, était complètement fermé par des champs de mines ;

le Petit-Belt était également inutilisable, en raison du manque de fond et des mines. Bien que le déplacement des sous-marins soit beaucoup plus faible que celui des grands bâtiments de surface, cuirassés, cargos ou paquebots, et ne dépasse pas sensiblement 1.000 tonneaux en plongée, leur tirant d'eau en immersion complète n'est pas sensiblement différent.

Le seul passage possible était donc le Sund, assez resserré dans le voisinage de Copenhague, et n'offrant qu'un chenal très étroit, propre à la navigation, avec des profondeurs par endroits tout à fait insuffisantes. Passer en plongée, dans ces endroits-là, était tout à fait impossible : passer en surface était s'exposer à une destruction tout aussi certaine, étant donné le nombre de bâtiments de guerre allemands en faction. Les difficultés étaient encore accrues par la présence des mines allemandes, suédoises et danoises. Il y a lieu d'observer en effet que l'on ne pouvait attendre aucune complaisance de la part de ces neutres. Pour le peuple danois, quelles que soient ses sympathies, la situation géographique de son pays le mettait dans l'impossibilité de les manifester. Quant aux Suédois, leur neutralité, soyons toujours parfaitement corrects, était influencée par le parti germanophile très puissant dans ce pays ; et c'est ainsi que des mesures furent prises, comme l'extinction de certains phares du côté de Malimoë, qui devaient aggraver encore les difficultés de la navigation de nuit dans ces parages.

Eh bien ! malgré tout, en dépit de ces obstacles accumulés par la nature et les hommes, les sous-marins anglais ont passé. Comment ce tour de force a-t-il été réussi ? l'Amirauté anglaise, avec une dis-

crétion prudente, n'a pas cru devoir le dire ; mais il est permis de supposer que la traversée des détroits a dû se faire de nuit, les sous-marins naviguant en plongée, partout où il y avait assez de fond pour pouvoir le faire, et, arrivés à la passe où les fonds se relèvent, il est probable qu'ils sont revenus courageusement à fleur d'eau et se sont glissés silencieusement, en s'efforçant d'éviter aussi bien les patrouilleurs allemands que les bancs de sable. Bien des fois, sans doute, dans cette passe difficile, il a dû leur arriver de talonner le fond avec leur quille, car aucun feu ne leur permettait de rectifier leur position, et ils devaient se fier uniquement à leurs boussoles.

Là aussi des accidents sont survenus, et l'on a encore présent à la mémoire le récit tragique, qui a paru dans les journaux, de l'échouage de l'un de ces sous-marins, à peu de distance de Copenhague.

Le bâtiment, trompé par les ténèbres, s'était trop écarté de l'étroit chenal navigable et était venu, selon l'expression consacrée en marine, se mettre au plein sur le rivage d'un petit îlot, situé dans les eaux territoriales danoises.

L'expédition était manquée, l'équipage s'attendait à être interné en Danemark. Mais bientôt les contre-torpilleurs allemands arrivaient sur les lieux et, au mépris de toutes les conventions internationales, se mettaient à canonner l'équipage du sous-marin, qui s'était rassemblé sur la passerelle. Il fallut l'arrivée de bâtiments de guerre danois, venus pour faire respecter leur territoire, pour mettre fin, non pas à ce combat, mais à ce massacre.

Et c'est grâce au dévouement de marins comme ceux-ci que d'autres sous-marins ont pu pénétrer

dans la Baltique, arrêter les navires qui rapportaient de Suède le précieux minerai de fer, et soit les obliger à rebrousser chemin, soit les capturer et les amener avec leur contrebande de guerre dans les ports russes, et enfin, dans la bataille du golfe de Riga, contribuer puissamment à mettre en déroute la flotte allemande et torpiller un de ses plus puissants bâtiments cuirassés.

LES SOUS-MARINS DANS L'ADRIATIQUE

Dans l'Adriatique, les sous-marins français ont opéré avec ceux de nos alliés, les Italiens et les Anglais. Leur première tâche consistait à interdire complètement le passage du canal d'Otrante à tout navire ennemi ; il l'ont accompli dès le premier jour où l'Italie est entrée en guerre, et ils continuent à bloquer hermétiquement la mer Adriatique. Leur seconde tâche consistait à détruire la flotte autrichienne et à gêner le ravitaillement des troupes sur les côtes dalmate et albanaise ; elle présentait, en raison des conditions géographiques, bien connues de tous les Italiens, mais souvent ignorées en France, de très grandes difficultés. Ce long canal de la « mer très amère », comme l'a appelée Gabriel d'Annunzio, a deux rives totalement différentes, et c'est même cette différence essentielle de constitution géologique du littoral qui explique les aspirations italiennes.

La côte ouest, celle de l'Italie, est basse et plate presque sans sinuosités, elle n'offre aucun abri aux navires, à tel point que de Tarente à Venise, il n'existe pas une seule bonne rade susceptible d'être utilisée par une escadre. L'Italie se trouve donc dans

une situation tout à fait désavantagée, et son infériorité s'accentue encore par le contraste qu'offrent ces rivages inhospitaliers avec la côte opposée.

Depuis Trieste jusqu'à la Grèce, des montagnes parfois très élevées bordent le rivage de très près, sans interruption ; ainsi le célèbre mont Lovcen, qui tenait Cattaro sous le feu de ses canons, s'élève à plus de 1.700 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces côtes abruptes sont profondément découpées par des baies, des golfes, des anfractuosités, des espèces de fiords dont les sinuosités s'enfoncent profondément dans les terres. L'Italie, dès le début des opérations, s'est assuré la possession de l'une des meilleures de ces rades, celle de Valona, qui peut abriter en toute sécurité toutes ses escadres.

Mais le plus remarquable de ces abris naturels est celui qui porte le nom de Bouches de Cattaro. Figurez-vous une série de vastes bassins naturels, entourés par des montagnes de 800 à 900 mètres de haut, et communiquant entre eux par des passes étroites et profondes. C'est une véritable forteresse navale créée là par le caprice de la nature.

Les navires du plus fort tirant d'eau peuvent pénétrer jusqu'au fond de ce labyrinthe, où ils seront aussi parfaitement à l'abri des coups de vent que des bombardements de l'ennemi. L'étroitesse des passes, en outre, facilite singulièrement l'établissement de barrages, en même temps que les parois abruptes du rocher fournissent les meilleurs emplacements pour y dissimuler des batteries. Et ce n'était pas assez que toute cette côte constitue, par elle-même, une vraie ligne de fortification ; en avant de cette ligne tout un archipel d'îles s'étend,

comme pour former une seconde ligne avancée qu'on ne saurait mieux comparer qu'au réseau compliqué de tranchées et de boyaux dont les Allemands ont garni leur front occidental.

Entre ces îles, les bâtiments ennemis peuvent circuler à peu près en sécurité, protégés qu'ils sont par les mines qu'ils ont mouillées dans les chenaux. Si même ils se hasardent quelque peu hors de cet archipel, à la première attaque ils peuvent s'éclipser entre ces îles, et bien imprudent serait celui qui s'élancerait inconsidérément à leur poursuite. Telles sont les défenses naturelles qu'offre la côte orientale de l'Adriatique ; et l'on conçoit que les Italiens, parmi leurs revendications, insistent si fortement pour la possession de cette côte ou tout au moins de ces îles : ils savent, par expérience, que la maîtrise de la mer Adriatique appartient forcément à la nation qui possède la côte dalmate.

C'est au milieu de ces obstacles formidables que nos sous-marins ont eu à lutter. Il n'est pas possible de raconter dans leur ensemble ces opérations ; mais on peut citer quelques-unes des prouesses les plus remarquables qu'ils ont accomplies. A différentes reprises, ils ont pénétré dans le plus fortifié de ces réduits, dans les Bouches de Cattaro, avec une hardiesse qui est presque de la témérité ; l'un d'eux, notamment, dont nous tairons le nom à notre grand regret, franchit la première passe des Bouches sans être aperçu, continua sa route en plongée jusqu'à la seconde, prenant la précaution de ne faire émerger son périscope que juste le temps nécessaire pour modifier sa direction.

Arrivé dans le deuxième bassin naturel, il fut sans doute aperçu et il eut à essuyer le feu des

batteries de la côte. Au moment critique, le sous-marin plonge profondément, reste immobile plusieurs heures; mais le commandant ne peut pas se décider à renoncer à une entreprise qui avait si bien débuté; il décrit, en plongée profonde, des circuits compliqués pour dépister l'ennemi. Puis, prudemment, il hasarde un coup d'œil circulaire avec son périscope et il reprend sa marche en avant : il contourne le dernier promontoire rocheux, derrière lequel va se montrer enfin le fond extrême du fiord : le port de Cattaro. A ce moment, un choc se produit et le sous-marin est arrêté : il a donné contre un filet. Moment d'angoisse pour tout l'équipage. Remonter en surface, il n'y faut pas songer, car ce serait la perte certaine, sous le feu des canons autrichiens. Rester au fond, c'est la mort lente par asphyxie. Tous connaissent bien ces deux alternatives également terribles, et cependant chacun se tait. L'état-major délibère, la décision du commandant est prise; dans un silence impressionnant il donne ses ordres pour exécuter une manœuvre qui permettra peut-être de dégager le sous-marin; les moteurs sont mis en marche arrière; le bâtiment ne paraît pas obéir. Plus vite, alors : un craquement se fait entendre : le filet vient d'être rompu, le sous-marin est dégagé, on est sauvé. Mais il ne faut pas perdre son sang-froid ; il faut veiller aux gouvernails de plongée, maintenir l'immersion exacte dans cette marche à reculons, car il ne s'agirait pas, en ce moment, par un faux coup de barre, de revenir intempestivement en surface.

D'autres expéditions ont eu une fin tragique. Les journaux ont parlé, en son temps, de la fin héroïque du sous-marin *Curie*. Ce bâtiment devait aller rechercher l'escadre autrichienne dans son

repaire de Pola, où elle se tenait réfugiée, protégée par plusieurs rangs de barrages, et torpiller les cuirassés au gîte. Manœuvré avec une habileté consommée, le *Curie* a réussi à éviter tous les obstacles accumulés à l'entrée de la rade ; de là il pousse plus à fond, il entre dans le port même de Pola, il touche au but.

C'est à ce moment, à l'intérieur même du port, qu'il donne dans un barrage qui l'arrête.

Moins heureux que le sous-marin de Cattaro, toutes les tentatives qu'il fait pour se dégager restent vaines. Mais il ne se résigne pas à se rendre : il reste au fond. Quelles heures ont vécues ces marins, dans leur prison sous-marine ? on ne le saura que beaucoup plus tard ; quelle agonie brute et voulue ! Cependant, peu à peu, l'atmosphère du sous-marin, respirée par ces vingt-six poitrines, se vicie ; quelques hommes commencent déjà à éprouver des malaises, maux de tête, vertiges, symptômes caractéristiques de l'asphyxie prochaine ; tous éprouvent cette sensation angoissante de l'étouffement. C'est alors que se livre un combat dans la conscience du commandant : il peut se sacrifier lui-même s'il juge que son devoir le lui commande, mais a-t-il le droit de conduire à la mort ses hommes sans nécessité absolue ? Il songe que la présence de son bâtiment dans le port a été signalée ; il ne peut avoir de doutes sur ce point ; ne vient-il pas d'entendre résonner sur sa coque des coups qui indiquent que sa position est repérée et qu'on essaie de crocher le bâtiment avec des grappins ? Son sacrifice est inutile, puisque, dans quelques jours, avec le puissant outillage du port de Pola, les Autrichiens arriveront à renflouer la coque dont il avait voulu faire son cercueil.

Alors, dans un dernier sursaut d'énergie, il décide de remonter à la surface et de vendre chèrement sa vie. Mourir, soit, mais mourir en combattant. L'ordre est exécuté, on entend le sifflement de l'air comprimé envoyé dans les ballasts pour chasser l'eau ; le manomètre indique bientôt que le sous-marin remonte. Une lueur glauque filtre par les hublots du kiosque, à chaque seconde un peu plus claire, indiquant qu'on se rapproche de la surface. Alors on ouvre les panneaux, une bouffée d'air frais pénètre dans le sous-marin. Les hommes qui le respirent les premiers en sont étourdis et tombent en syncope; c'est ce qui leur sauvera la vie. Les autres se précipitent sur le pont du sous-marin où ils sont accueillis par un crépitement de balles qui les fauchent; le commandant lui-même est grièvement blessé; mais il avait eu le temps, auparavant, de rouvrir les prises d'eau du *Curie* qui coulait peu d'instants après que les survivants de l'équipage avaient pu être débarqués.

Bien d'autres sous-marins ont passé par des instants aussi critiques et ont eu plus de chance que le *Curie*. On ne saurait les citer tous. L'un des nôtres, et des plus gros, s'était aventuré dans les chenaux qui circulent entre les îles de la côte dalmate, à la recherche de bâtiments ennemis. Une première fois, malgré les précautions prises, il est aperçu et violemment canonné : fort heureusement, il plonge profondément, suffisamment vite pour échapper à l'ennemi. Il décrit alors, en plongée complète, sans sortir son périscope une seconde hors de l'eau, des cercles compliqués de manière à dépister l'ennemi. Lorsque enfin il croit être sûr que sa trace est bien perdue, il hasarde un coup de périscope et il aperçoit à bonne distance un trans-

port militaire, convoyé par des contre-torpilleurs. Il se rapproche; arrivé en position de tir, il lance sa torpille et aussitôt plonge profondément. Quelques secondes après, une violente explosion l'avertit que sa torpille est bien allée au but. Instant de joie ineffable pour le commandant et pour tout l'équipage, suivi bientôt d'une alerte terrible. D'autres explosions moins puissantes se font entendre : le sous-marin a été découvert par les contre-torpilleurs qui convoyaient le transport, et ceux-ci cherchent à le détruire avec des bombes. Les explosions se font plus violentes, signe qu'elles sont plus rapprochées; toute la coque est ébranlée. A la suite de l'une d'elles, une trombe d'eau se précipite à l'intérieur du sous-marin, par le panneau du kiosque.

Est-ce la fin? non; sans perdre le sang-froid, le panneau de sécurité qui isole le kiosque est fermé : la voie d'eau est limitée, arrêtée. Mais sous le poids de cette eau qui s'est introduite, le sous-marin alourdi a commencé à descendre. On agit sur les barres de plongée pour combattre cette descente; le moyen est insuffisant, l'aiguille du manomètre continue, avec une vitesse qui s'accélère, à indiquer des profondeurs croissantes; dans quelques secondes, la profondeur limite de résistance de la coque sera atteinte et même dépassée : le sous-marin sera écrasé par l'énorme pression extérieure. Un commandement retentit : « Larguez les plombs de sécurité! » C'est le moyen héroïque pour combattre la descente. L'aiguille du manomètre se ralentit, elle paraît hésiter, elle s'arrête enfin : le mouvement est enrayé. Le péril immédiat est conjuré. D'autres dangers restaient à courir; le sous-marin, délesté de ses plombs de sécu-

rité, privé de l'usage de son kiosque rempli d'eau, était dans les plus mauvaises conditions pour naviguer. Il réussit néanmoins à se maintenir entre deux eaux et à sortir de ce chenal dangereux.

La fin du sous-marin *Monge,* bien qu'entourée encore de beaucoup de mystère, est également à rappeler ; l'héroïsme du commandant de ce bâtiment, le commandant Roland Morillot, mérite d'être cité à côté des traits les plus sublimes que nous a transmis l'antiquité. Toute l'affaire semble s'être passée par une nuit noire ; pour comprendre la possibilité de l'accident, il ne faut pas oublier non plus que, pour un sous-marin, les chances de mettre la torpille au but sont d'autant plus grandes que l'on tire de plus près, et qu'il y a, par suite, intérêt, pour ne pas manquer son objectif, à s'en rapprocher le plus possible. D'autre part, l'appréciation des distances, déjà délicate de jour au moyen du périscope, devient tout à fait aléatoire de nuit, lorsqu'on ne voit plus même la masse sombre des bâtiments, mais seulement leurs feux, si même ces feux n'ont pas été masqués volontairement. Sachant cela, il est permis de supposer que le *Monge,* au moment de torpiller un bâtiment autrichien, a heurté un des bâtiments convoyeurs qu'il n'avait pu apercevoir dans l'obscurité.

Le choc produisit une voie d'eau grave qui, presque instantanément, entraîna le sous-marin à une profondeur considérable, où la coque donnait déjà les premiers signes précurseurs de l'écrasement. Tous les moyens pour revenir en surface étant mis en action, la course à l'abîme du bâtiment s'arrêta, puis il commença à remonter d'un mouvement s'accélérant. Arrivé en surface, le com-

mandant Morillot se vit entouré de torpilleurs ennemis : c'était la capture inévitable. Son sang d'officier se révolte à cette pensée. « Plongez ! » Tel fut l'ordre qu'il donna, et ses hommes s'apprêtaient à l'exécuter. Alors, songeant sans doute à toutes les veuves et à tous les orphelins qu'il allait faire, il décida de surseoir à l'ordre qu'il avait donné. « Tenez bon ! » Et en donnant ce contre-ordre, il ne put empêcher des larmes de rage impuissante de couler de ses yeux. Tout son équipage reçut l'ordre de débarquer et fut recueilli par les contre-torpilleurs ennemis. Lorsque le dernier homme fut en sécurité, on vit le sous-marin *Monge* s'enfoncer sous les flots et disparaître définitivement. Le *Monge* n'avait pas été capturé par l'ennemi ; la mer profonde l'avait englouti et ne le rendrait pas : le commandant Morillot était resté à son poste à bord, et volontairement avait coulé avec son bâtiment, préférant la mort à la captivité.

On comprendra maintenant pourquoi l'un de nos plus récents sous-marins a reçu ce nom glorieux entre tous de *Roland-Morillot*.

TABLE DES MATIÈRES

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — AVRIL 1917

EXPLOSIONS

ET

EXPLOSIFS

Il a été tiré de ce volume cinquante-cinq exemplaires numérotés à la presse, dont :

5 sur papier du Japon (Nos 1 à 5) ;

50 sur papier de Hollande (Nos 6 à 55).

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1916

Souscriptions du Ministère de l'Instruction publique et du Gouvernement Belg

11e Série

HENRY DE VARIGNY

EXPLOSIONS

ET

EXPLOSIFS

Avant-propos. — Définition des explosions. — Définition des explosifs. — Les différence d'aptitudes des explosifs. — La vitesse d'explosion. — Méthodes de mesure des vitesse d'explosion. — Peut-on prévoir la valeur d'un explosif ? — La mesure expérimentale de la pression et de la puissance des explosifs. — Les essais pratiques des explosifs. — L'amorçage des explosifs. — Le chapitre des accidents. — Classification des explosifs. — La poudre noire. — Explosifs chloratés. — Les fulminates. — Les celluloses nitrées. — Nitroglycérine et dynamite. — Picrates et mélinite, trinitrotoluol.

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAUL

PARIS — 5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY — RUE DES GLACIS, 18

1916

AVANT-PROPOS

Jamais il n'a été autant consommé d'explosifs. Et leur importance est capitale. Dans ces conditions il est indiqué de résumer quelques-unes des notions qui s'y rapportent. Mais on comprend que, dans un travail destiné au grand public, il ne soit pas possible d'entrer dans l'étude des questions techniques et mathématiques. Des ouvrages spéciaux existent, où la théorie des explosifs est étudiée à fond, les œuvres de Berthelot, de Sarrau, de Vieille et de beaucoup d'autres. C'est là qu'il faudra chercher des considérations et explications qui ne seraient pas à leur place ici (1).

(1) Voir, comme ouvrages d'ensemble : L. Vennin et G. Chesneau : *Les Poudres et Explosifs* (Ch. Béranger, 1914); P. Chalon : *Les Explosifs modernes* (Ch. Béranger, 1911); A. Marshall : *Explosives, their manufacture, properties, tests and history* (J. et A. Churchill, Londres, 1915); R. Molina : *Les Explosifs et leur fabrication,* traduit de l'italien par J.-A. Montpellier (Dunod et Pinat, 1909); Cundill : *Dictionnaire des explosifs,* traduit de l'anglais par M. Désortiaux (1893, Gauthier-Villars); Henry Le Chatelier : *Le Chauffage industriel* (Dunod et Pinat); Daniel : *Dictionnaire des matières explosives,* préface de M. Berthelot (Dunod, 1902); A. Job, *La Chimie du feu et des explosifs* (Berger-Levrault, 1915).

EXPLOSIONS

ET

EXPLOSIFS

DÉFINITION DES EXPLOSIONS

Les explosions sont de diverses sortes. Il en est qui se font sans qu'il y ait d'explosif dans l'affaire. La chaudière à vapeur qui saute par surchauffe nous présente un exemple d'explosion physique. Le siphon d'eau de Seltz, le tube d'acide carbonique liquéfié, sautant par excès de pression, font de même. Et on en peut dire autant de l'air ou de l'oxygène liquéfiés, enfermés dans un obus. Dans ces exemples d'explosion physique, il y a simplement changement d'état physique, sans changement chimique.

La situation change quand nous considérons l'acétylène liquéfié qui explose sous l'influence d'un détonateur, d'une amorce au fulminate de mercure, ou même par le choc ou le frottement. Le phénomène n'est plus purement physique. Nous assistons à une dissociation soudaine et violente des éléments, et nous avons là un second type

d'explosion, par dissociation. Plusieurs corps explosent de même : iodure et chlorure d'azote, argent fulminant, divers oxydes (de chlore, par exemple).

L'explosion enfin, au sens où l'on prend communément et de façon courante ce terme, est un phénomène de combustion. Et les explosions par combustion forment une troisième catégorie, la plus nombreuse et la plus importante. La combustion est plus ou moins rapide, d'où explosion plus ou moins forte. Dans ce troisième cas, l'explosif se compose de deux sortes d'éléments : un comburant et un combustible, l'explosion résultant de la combinaison rapide du dernier avec le premier.

Le comburant est variable : c'est le chlore, les nitrates, les chlorates, l'iode, le soufre, l'oxygène surtout. Le combustible est très divers, bien plus que le comburant : métaux divers (magnésium, aluminium), hydrocarbures, corps gras, tous les composés combustibles, à commencer par le charbon et l'hydrogène.

L'explosion par combustion résulte donc de la réaction consécutive au mélange d'un comburant et d'un combustible en proportions convenables, réaction qui se produit à la condition d'une certaine excitation, d'une sorte de coup de pouce déterminant. Ce coup de pouce est plus ou moins nécessaire, et, selon la nature de celui-ci, le phénomène varie beaucoup. Le même explosif peut brûler, tout simplement, sans explosion, si on y met une allumette, ou bien détoner avec fracas si on l'amorce au moyen d'un détonateur. Il y a donc deux côtés, pour ainsi dire, à un explosif : sa composition et la manière de le faire exploser.

DÉFINITION DES EXPLOSIFS

Les explosifs ne se définissent pas chimiquement. Ce ne sont pas des membres d'une classe quelconque d'éléments simples, mais des mélanges ou composés où sont associés des corps divers, parfois très complexes. Mélanges instables, c'est-à-dire prenant feu ou se dissociant aisément, par ignition, par choc, par frottement, par ébranlement, et dont la manipulation exige toujours de grandes précautions. L'instabilité de certains est telle qu'ils sont même inutilisables. On définit bien plutôt les explosifs par leurs effets physiques. Un caractère commun à tous les explosifs proprement dits est que tous sont, ou bien que tous contiennent, des corps endothermiques, c'est-à-dire des corps s'étant formés avec *absorption* d'une grande quantité de chaleur, avec un grand abaissement de température, et qui, en se décomposant, *dégageront* au contraire beaucoup de chaleur, autant qu'ils en ont fixé pour un temps. La thermochimie, entre les mains de Berthelot, fait connaître quelle quantité de chaleur est absorbée ou dégagée dans la formation de milliers de composés chimiques, solides, liquides ou gazeux, et sous les trois états pour ceux qui les présentent, comme l'eau; elle indique donc d'avance quels sont les composés formés avec dégagement de chaleur, qu'il est inutile d'essayer à titre d'explosifs, et quels sont ceux qui peuvent être utilisés, leur formation ayant été accompagnée d'une absorption de chaleur, au contraire. Les tables de chaleur de formation rendent là des services de premier ordre, et le rôle de Ber-

thelot dans la constitution de la théorie des explosifs est capital (1872).

Grand dégagement de chaleur, lors de la décomposition explosive, parce qu'il en a été absorbé beaucoup lors de la formation du composé, voilà un premier caractère des corps explosifs.

Un autre est la production d'une très grande quantité de gaz. C'est le passage du liquide ou solide à l'état de gaz qui détermine les effets de l'explosion ; c'est l'expansion du gaz qui détermine les effets de pression et de déplacement : propulsion d'un projectile s'il s'agit de la poudre à fusil ou à canon, éclatement des parois si l'explosif est enfermé dans un récipient quelconque clos. Quelques explosifs peuvent servir indifféremment à la propulsion et à l'éclatement, comme la poudre noire qui sert à la propulsion des grains de plomb dans le fusil de chasse et reste un explosif de mine et de carrière très apprécié ; certains peuvent être amenés à remplir les deux fonctions par des traitements qui en altèrent les propriétés en vue du but à atteindre : qui modèrent un explosif brisant (poudre Vieille), ou au contraire accélèrent la réaction d'un explosif ayant naturellement une marche lente. Il y a donc des explosifs qui, par leur nature, sont très préférables comme propulseurs de projectiles, et d'autres qui, ayant une brisance extrême, ne peuvent être utilisés que pour faire éclater des projectiles creux, ou faire sauter des matériaux (mines, carrières, destruction d'édifices, chemins de fer, rochers, etc.). En somme, comme définition des explosifs, on peut accepter la suivante : solide ou liquide, un mélange de substances aptes, par application de choc ou de chaleur à une petite partie de la masse, de se con-

vertir très rapidement en d'autres substances plus stables, pour la plupart, ou en totalité, gazeuses et plus volumineuses aussi.

LES DIFFÉRENCES D'APTITUDES DES EXPLOSIFS

Nul ne l'ignore, les divers explosifs ne sont pas interchangeables. On ne mettra pas dans un obus, indifféremment, de la poudre noire ou de la mélinite ; ni dans un fusil, de la dynamite à la place de nitrocellulose.

A quoi tiennent les différences d'aptitudes, pour ainsi dire, des divers explosifs ? Pourquoi la dynamite ne vaut-elle rien comme explosif de propulsion, alors que comme explosif brisant elle est très supérieure à la poudre sans fumée ?

La chose s'explique par l'existence de différentes sortes d'explosions, lente et rapide. Et en pratique, il y a l'explosion lente, convenant aux cas où l'on recherche un effet de propulsion ; l'explosion semi-rapide, convenant encore au même cas, et l'explosion très rapide, brisante. Les poudres lentes, progressives, conviennent à la cartouche et à la gargousse; les poudres brisantes, aux obus, aux cartouches destinées à détruire ponts, rails, etc. La poudre progressive agit sur la balle ou l'obus durant tout le temps que le projectile parcourt l'âme du canon ou du fusil ; la poudre brisante fracasserait ceux-ci. Aussi réserve-t-on les explosifs brisants aux cas où l'on cherche un effet de destruction : obus, mines, torpilles.

LA VITESSE D'EXPLOSION

Dans une conférence très intéressante à la Société des Amis de l'Université (janvier 1915 : *Les Explosifs,* conférence publiée dans la *Revue de Métallurgie* [Dunod et Pinat] et en tirages à part, aussi), M. Henry Le Chatelier, l'éminent chimiste et métallurgiste, a donné sur la vitesse d'explosion des indications fort intéressantes.

Cette vitesse est extrêmement variable : selon l'explosif, selon les conditions où il est placé, selon le mode d'amorçage enfin. Prenons une cartouche de dynamite et mettons-y le feu : elle brûle comme une torche, lentement. Plaçons-la contre un rail de chemin de fer, et faisons-la partir avec une amorce convenable : le rail part avec elle. Il y a eu explosion, brisement, éparpillement, et le tout en un clin d'œil. C'est là un exemple entre mille. Si nous résumons la philosophie à dégager des neuf cent quatre-vingt-dix-neuf autres en même temps, nous constatons que la vitesse de propagation de l'explosion, la vitesse de l'explosion, varie d'un explosif à un autre, et aussi, pour un même explosif, d'une condition à une autre dans des limites presque démesurées. Les différences sont de l'ordre de un à un million. Dans tel composé l'explosion se fait un million de fois plus vite que dans tel autre. C'est là, on le devine sans peine, ce qui fait le danger des explosifs brisants, ultra-rapides, explosant à l'air libre en l'absence de toute contrainte. Tandis que, en liberté, la poudre noire déflagre sans causer d'explosion et que la dynamite allumée brûle lentement, sans exploser non plus, la dyna-

mite explosant sous l'action de l'amorce convenable fait un dégât considérable en raison de la soudaineté de sa transformation. Les couches d'air ambiantes, le sol, les objets, agissent comme autant de parois, d'obstacles s'opposant à l'expansion des gaz subitement dégagés : d'où des effets identiques à ceux que l'on aurait eus si l'explosif avait été enfermé dans une enveloppe.

MÉTHODES DE MESURE DES VITESSES D'EXPLOSION

M. Henry Le Chatelier a fort bien résumé et exposé les méthodes au moyen desquelles on mesure les vitesses d'explosion, ou plus exactement, de propagation d'explosion. L'exposé sera plus simple en commençant par le cas d'une explosion de mélanges gazeux.

On prend un tube de verre fermé à une extrémité, ouvert à l'autre, rempli d'un mélange combustible : par exemple 20 parties de gaz et 80 d'air. On allume par le bout ouvert et on regarde. On voit la flamme progresser régulièrement d'abord, puis s'accélérer, devenir trouble, et, dès lors, la vitesse devient et reste plus grande et très irrégulière. Mais, même en pareil cas, où les phénomènes ne sont pas extrêmement rapides, la vue est évidemment un moyen d'observation trop imparfait, et notre horloge intérieure est d'une précision plus qu'inadéquate. Pour bien faire, pour mesurer avec précision, il faut la photographie — la plaque voit des choses qui échappent à l'œil, vous diront les astronomes — et, en particulier, la chronophoto-

graphie, qu'élabora Marey ; il faut pouvoir photographier toute la longueur du tube soit sur du papier se déplaçant à raison de 10, 20, 50 centimètres ou 1 mètre par seconde, soit, s'il s'agit de vitesses d'explosion plus grandes, sur une plaque tombant en chute libre avec des vitesses variant de 1 à 10 mètres par seconde. Inutile d'insister sur les détails : l'important est le résultat. Or, le résultat c'est, avec les flammes riches en rayons actiniques, bien entendu, une photographie qui se lit avec la plus grande facilité, un graphique très clair qui fait voir la progression de la flamme, non seulement seconde par seconde, mais de dixième en dixième de ce temps.

Cette photographie montre nettement des faits que l'œil ne pourrait déceler. Elle fait voir qu'au début, la flamme progresse avec une vitesse uniforme très régulière, de 60 centimètres à la seconde, puis elle prend un mouvement oscillatoire très net en même temps qu'augmente la vitesse de propagation, qui peut, par moments, être décuplée. Que se passe-t-il donc, et pourquoi cette seconde forme de propagation ?

Il y a là deux phénomènes distincts, successifs, nous dit M. Le Chatelier. Pendant la première période, la flamme progresse en vertu de la transmission de la chaleur par conductibilité calorifique. En un point donné, nous avons une couche brûlée très chaude (2.000° environ) au contact d'une couche froide non brûlée ; elle échauffe celle-ci jusqu'à sa température d'inflammation qui est de quelques centaines de degrés. La vitesse de propagation est régulière, continue, car elle dépend de trois facteurs qui sont constants : la température de combustion, la température d'inflammation, et la

conductibilité calorifique de la masse. On le voit bien à ce fait que, dans les mélanges divers qu'on peut faire, la vitesse de propagation la plus grande se présente dans le mélange intermédiaire entre le plus chaud et le plus conducteur, comme le faisait prévoir la théorie.

Pendant la seconde période, il se passe autre chose. Par l'agitation de la masse gazeuse résultant des oscillations, il y a mélange des couches froides et chaudes, et contacts plus étendus entre celles-ci, d'où accélération des échanges de chaleur. Et plus l'agitation est forte, plus les échanges sont accélérés et la propagation rapide.

L'expérience qui précède, répétée avec un mélange bien plus combustible d'oxygène et de sulfure de carbone, montre que la propagation se fait là aussi toujours selon deux modalités. Uniformément d'abord, mais plus vite : 20 mètres par seconde au lieu de 60 centimètres. C'est la conductibilité qui est en jeu. Puis brusquement, la propagation se fait en quelque sorte instantanée. Du moins, avec un déplacement lent de la plaque, elle paraît telle ; avec un déplacement rapide (10 mètres par seconde au lieu de 10 centimètres ou de 1 mètre par seconde), elle ne l'est plus et devient mesurable : sa vitesse est de 1.800 mètres par seconde.

Cette expérience nous révèle un troisième mode de propagation qui a reçu le nom d'onde explosive. Quel mécanisme invoquer ici ? L'action de la couche brûlée n'est plus d'échauffer la voisine non brûlée par conductibilité, c'est de la comprimer par sa pression qui est très élevée, c'est de lui donner un choc, comme l'a montré Berthelot, qui l'échauffe mécaniquement. L'onde de choc marche rapidement, aussi la réaction « s'emballe-t-elle » ; elle est

adiabatique et très accélérée en raison de l'élévation de la température. Celle-ci, on le sait, joue un grand rôle dans les réactions chimiques, et la vitesse d'éthérification, par exemple, est, à 200° C., vingt-deux mille fois plus grande qu'à 7° C. La réaction isothermique est naturellement modérée; l'adiabatique est forcément explosive.

Dans le cas qui vient d'être examiné, nous avons affaire à l'onde explosive.

Comme il importe de bien comprendre ce qu'est l'onde explosive, prenons un exemple. La dynamite ne détone que si elle est portée brusquement à 190 ou 200° C. Or, elle explose si on fait tomber sur elle un poids d'un kilo d'un mètre de hauteur, bien que la force vive, dans le cas examiné, soit hors d'état, transformée en chaleur, d'élever la quantité de dynamite en expérience à la température indiquée. Il faut admettre que la pression développée par le choc a été trop soudaine pour se répartir dans la masse : la force vive se transforme en chaleur *dans les couches superficielles* atteintes qui sont portées à la température voulue. Elles explosent donc, mais la production de gaz est tellement brusque qu'un nouveau choc frappe les couches adjacentes. Et ainsi de suite, de proche en proche, d'après Berthelot. Il y a donc une « vitesse de détonation », et on comprend que la violence des effets dépende de l'intensité du premier choc, car, plus l'impulsion première est énergique, plus la propagation est rapide. On saisit dès lors l'extrême importance de l'amorçage, de la mise en train. Les chocs successifs, de couche à couche, sont plus rapides quand ils sont plus violents, et une explosion est en réalité le résultat d'une série d'explosions qui s'engendrent les unes les autres

et se précipitent, se succédant de plus en plus vite.

Il y a donc trois modes de propagation de la flamme :

Par conductibilité, avec vitesses variant de 10 centimètres à 100 mètres par seconde (selon que le mélange contient de l'air ou de l'oxygène) ;

Par agitation, mode qui « ne comporte aucune définition précise », dit M. Le Chatelier, mais donne des vitesses pouvant approcher du kilomètre à la seconde ;

Enfin par choc ou onde explosive, donnant des vitesses variant de 1.000 à 5.000 mètres par seconde et plus encore, la quasi-instantanéité [1].

Ce qui est vrai des mélanges explosifs gazeux l'est aussi des solides. On retrouve chez ceux-ci les trois modes de propagation, ou du moins des homologues de ceux-ci.

Ainsi la combustion de la poudre sans fumée à l'air libre se fait à raison de 10 millimètres par seconde (conductibilité). Et beaucoup d'explosifs notables ont des vitesses de combustion par conductibilité tout aussi faibles et même plus faibles. Aussi se garde-t-on bien de les faire partir par ce moyen. Ce qu'on demande à un explosif, c'est de faire explosion, de se décomposer rapidement.

Dans la déflagration de la poudre noire, nous avons quelque chose qui correspond à la propagation par agitation. La vitesse est plus grande. Mais encore faut-il observer — et c'est ici une des découvertes de M. Vieille, l'éminent ingénieur, qui

(1) La vitesse de l'onde explosive, avec certains explosifs brisants, peut atteindre 11 kilomètres à la seconde, d'après M. G.-W. Mac Donald (*Nature,* 8 juillet 1915).

a trouvé la poudre sans fumée et révolutionné la guerre moderne — que la vitesse dépend de conditions accessoires, de l'état de division de la matière explosive : la matière brûle plus vite en grains qu'en masse compacte agglomérée, et la différence est de l'ordre de 1 à 100, et aussi de la pression, ce qui fait qu'en vase clos, où la pression s'accroît par le fait du dégagement des gaz, la vitesse des échanges de chaleur, et par conséquent de déflagration, s'accroît énormément.

Enfin beaucoup de corps, les explosifs, les grands explosifs, les professionnels de l'explosion, présentent le troisième mode de propagation, c'est-à-dire, par choc, par onde explosive. Et, dans ce cas, la vitesse varie de 2.000 à 7.000 mètres par seconde. Ici, naturellement, les effets brisants sont au maximum. C'est cette vitesse énorme de propagation de l'explosion qui permet aux grands explosifs, aux explosifs rapides, de déterminer, en détonant à l'air libre, des pressions aussi élevées qu'en vase clos : d'être aussi dangereux en liberté qu'en cage.

L'énormité des pressions dégagées par l'onde explosive résulte de la loi mécanique de l'inertie, comme l'a fait remarquer M. Le Chatelier. « L'explosif détone dans son propre volume avant que les produits de la réaction aient eu le temps de se déplacer de façon appréciable. »

Aussi qu'arrive-t-il si un pareil explosif détone à l'air libre, à côté d'un rail ? C'est que ce dernier est brisé net. Ce n'est pas tout. Du point où se fait l'explosion partent des ondes comprimées d'une violence extrême, produisant au loin des effets mécaniques considérables. Ce sont ces ondes qui jettent les hommes et les bêtes à terre, qui brisent les fenêtres, fendent les murs et font même explo-

ser les explosifs à petite distance. Ceux-ci se comportent comme s'ils recevaient un coup violent ou tombaient de haut : l'onde comprimée agit comme un choc. A petite distance, les corps sont déchiquetés, éparpillés ; plus loin, les combattants tombent et meurent, comme assommés par le coup.

La notion de l'onde explosive est très intéressante. C'est grâce à l'application de la méthode d'analyse et d'étude indiquée plus haut qu'elle a pu prendre corps. L'expérience montre que cette onde explosive présente des degrés : la vitesse d'explosion est variable. Elle varie selon la substance. Dans la dynamite, elle dépasse 6 kilomètres à la seconde d'après les artilleurs autrichiens ; avec le coton-poudre, elle varie de 5 à 7 kilomètres, d'après le général Sébert ; avec la nitromannite, elle atteint 7.500 mètres ; avec l'acide picrique, 6.500 mètres. Mais avec la dynamite, Sarrau n'aurait obtenu que 2.700 mètres comme vitesse.

Voici d'ailleurs un tableau concernant la vitesse de détonation de quelques explosifs, avec le nom de l'auteur de la détermination.

EXPLOSIFS	VITESSE de détonation en mètres par seconde	AUTEURS
Coton-poudre sec	3.700-6.500	BERTHELOT.
Coton-poudre humide	5.500	ABEL.
Nitro-amidon.	5.500	ABEL et BERTHELOT.
Nitromannite	7.000	ABEL et BERTHELOT.
Tétranitro-méthylaniline. . .	8.500	BICHEL.
Trinitro-crésol	6.500	KAST.
Panclastite.	6.500	BERTHELOT.
Dynamite.	2.000-6.000	BERTHELOT et DAUTRICHE.

Pour un même explosif on observe souvent des différences importantes selon les expérimentateurs ; cela peut tenir à la manière de faire et aux différences de pureté du produit.

Ceci dit sur les trois modes de propagation de l'explosion, qui expliquent la diversité d'aptitudes des explosifs, et font voir pourquoi les uns ne peuvent servir qu'à briser, au lieu que d'autres ne sont bons que comme propulseurs, il convient d'ajouter que, si certains restent invariablement brisants ou propulseurs, parce que naturellement rapides ou lents, d'autres peuvent être à volonté rendus plus rapides ou plus lents par des artifices divers. On arrive à domestiquer, à apprivoiser, dans une certaine mesure, les explosifs brisants, et, par contre, on peut aussi donner un peu plus de ton aux explosifs lents. La chose a son intérêt pratique.

Nous venons de voir pour quelle raison les explosifs diffèrent dans leur vivacité, dans leurs aptitudes. Il faut examiner maintenant comment on en mesure les effets. Pouvoir mesurer, c'est avoir le moyen de juger et de comparer : c'est un progrès immense. Et quiconque trouve une méthode de mesure rend un service signalé à la science.

PEUT-ON PRÉVOIR LA VALEUR D'UN EXPLOSIF ?

Comme une explosion résulte de réactions chimiques, et comme la thermo-chimie fait connaître la quantité de chaleur dégagée par une réaction donnée, étant connues la nature des éléments en présence, leur chaleur de formation et la nature

des éléments finaux, il semble que, théoriquement, le chimiste devrait prévoir les effets possibles d'un explosif. La force vive d'un explosif est certainement le fait des réactions chimiques se produisant lors de sa décomposition. A première vue, le problème paraît simple, et on trouve un peu partout des chiffres donnant le potentiel de divers explosifs. Le potentiel, c'est le produit de la chaleur de réaction de l'explosif multiplié par 425 kilogrammètres, l'équivalent mécanique de la chaleur, et ce produit, le potentiel, mesurerait le travail disponible. Un calcul très simple, la composition chimique d'un explosif étant exactement connue, ferait savoir le travail maximum pouvant être fourni par celui-ci.

En théorie, sans doute ; mais en pratique, il en va autrement. On connaît le produit initial et les éléments finaux : d'accord. Mais on ne sait pas toujours par quelles étapes ont été obtenus ces derniers, et ceci a une grande importance. La pression sous laquelle se fait la réaction en a tout autant, et il en va de même de la température dont il est difficile de calculer les pertes. Autre chose : la vitesse d'explosion compte pour beaucoup ; or, on ne peut la prévoir. La nature de la réaction chimique, d'où dégagement de chaleur et de gaz, et la vitesse de réaction, voilà les deux données essentielles. Et la théorie ne les prévoit pas exactement. Il en résulte donc que les vues théoriques, *a priori*, sont insuffisantes. Seule l'expérimentation directe fournit la réponse. Observons simplement, en passant, que le coefficient d'utilisation des explosifs reste assez faible : il n'y a guère que 25 ou 30 °/₀ de l'énergie totale développée sous forme d'énergie calorifique qui se trouve transformée en travail mécanique utilisable.

LA MESURE EXPÉRIMENTALE DE LA PRESSION ET DE LA PUISSANCE DES EXPLOSIFS

Pour apprécier les explosifs et savoir le parti qu'on en peut tirer, pour établir la « science des explosifs », il faut donc pouvoir mesurer les effets de ceux-ci, et en évaluer exactement la puissance de façon expérimentale. La puissance, c'est-à-dire la pression développée lors de l'explosion en vase clos, qui est cause des phénomènes de rupture de rails ou de ponts, d'éclatement d'obus, de brisement et d'éparpillement d'objets divers, de propulsion de balle ou d'obus : la pression et le travail ensemble.

Longtemps, l'évaluation de cette puissance a été chose de sentiment, d'opinion vague. Il était difficile, du reste, d'arriver à quelque chose de précis. Aussi, l'un disait-il 1 là où l'autre disait 10 ou 100. Il fallait des instruments de mesure plus forts que les explosifs, pour n'être point détruits par ceux-ci, et, d'autre part, la soudaineté des explosifs rapides mettant en jeu l'inertie des pièces mobiles et faussant totalement les indications, il fallait supprimer les pièces de ce genre.

Ce furent deux Anglais, Sir Andrew Noble, artilleur, mort en novembre 1915, et Sir Frederick Abel, chimiste, qui imaginèrent la méthode actuellement employée pour mesurer la pression développée par l'explosif explosant en vase clos, la méthode des *crushers,* des « écraseurs ». Elle consiste à faire exploser en vase clos, résistant, une unité d'explosif, et à en mesurer la puissance par l'écrasement d'un petit cylindre de cuivre,

aplati par un piston en acier mis en action par la pression. Par unité d'explosif, il faut entendre un poids donné, quelconque, dans une capacité donnée : en l'espèce, c'est un gramme par centimètre cube. Cette unité explose : les gaz dégagés pressent sur le piston ; le piston comprime le cylindre de cuivre (uniforme, lui aussi, en hauteur, diamètre et poids) et le cylindre est plus ou moins écrasé, diminué de hauteur, et élargi latéralement. Cette diminution peut être exactement appréciée. Au moyen de balances de tarage on fait supporter à des *crushers* identiques des pressions connues, qu'on fait varier autant que l'on veut ; on voit quel est le résultat, et dès lors, après une série d'expériences de tarage faites une fois pour toutes, on est en possession d'une série de *crushers* qui ont subi toutes les pressions qu'on a voulu. Il suffit de rapprocher de ceux-ci les *crushers* fournis par l'éprouvette à explosions pour savoir quelle pression a été développée dans celle-ci par tel explosif. On évalue l'inconnu par comparaison avec le connu. Rien de plus simple ; encore fallait-il y penser. L'éprouvette de Noble et Abel, perfectionnée par M. Vieille, et qui doit être construite avec beaucoup de soin pour éviter les fuites de gaz autour du piston, est toujours en usage. Les *crushers* ont généralement 8 millimètres de diamètre sur 12 de hauteur : sous pression de 3.500 kilos ils perdent moitié de leur hauteur.

De leurs expériences, qui leur donnèrent pour la poudre noire (à 1 gramme par centimètre cube) une pression de 6.500 atmosphères, les deux expérimentateurs anglais tirèrent une loi, une formule relative au rapport entre la densité de chargement et la pression, et qui a servi de base à tous les

calculs balistiques : cette formule, empiriquement obtenue, est celle que MM. Mallard et Le Chatelier ont tirée, depuis, d'une équation des fluides élastiques de Van der Waals, et qui s'obtient par calcul, étant données la formule de la réaction chimique, la chaleur de réaction et la chaleur spécifique moyenne des gaz, choses connues déjà, et qu'on trouve dans les tables spéciales ou que l'on établit sans peine par l'expérimentation.

La méthode des *crushers* rend des services de premier ordre, dans la détermination de la pression maxima sans explosion du récipient, mais, il faut le reconnaître, elle ne renseigne nullement sur la pression dans les obus ou mines où la densité de l'explosif est beaucoup plus élevée. On ne peut pas faire d'éprouvettes capables de résister aux pressions formidables — supérieures à 10.000 atmosphères — que développent les explosifs à forte densité de chargement. Il en résulte que l'évaluation de la pression maxima, à pleine densité de chargement, reste impossible. On peut mesurer la puissance des poudres progressives, des explosifs lents, et c'est l'essentiel : en ce qui concerne les explosifs brisants, les données restent conjecturales. Au-dessus de 6.000 atmosphères, l'éprouvette est mise hors d'état. Remarquons, par surcroît, avec M. Le Chatelier, que pour ces pressions formidables la formule ne s'applique plus et ne peut rendre le moindre service. Elle n'est exacte que dans certaines limites vite atteintes.

Peut-on mieux mesurer le travail des explosifs, d'où dépend la force vive communiquée au projectile ?

Le premier appareil qu'on ait imaginé, pour mesurer — bien grossièrement du reste — la puis-

sance du seul explosif encore connu, la poudre, ou plutôt pour en vérifier la condition, est celui que Bourne a décrit dans ses *Inventions and Devices,* de 1578. C'était un cylindre métallique à couvercle lourd. On faisait déflagrer de la poudre dans le cylindre ; le couvercle se soulevait, et, grâce à une crémaillère, restait fixé au point atteint. L'angle du couvercle avec le cylindre « mesurait », dans une certaine mesure, la puissance de l'explosif.

En 1627, Curtenbach (*Halinitro Pyrobolia*) faisait mieux. Il avait un mortier vertical recevant un boulet pesant. L'explosion faisait partir le boulet qui était fixé à bout de course par des pièces d'arrêt. Le maître canonnier anglais Nye, en 1647, proposa d'éprouver la poudre en l'employant à tirer une balle de pistolet dans de l'argile, la profondeur de pénétration servant de moyen de mesure. Ou bien encore on employait un mortier horizontal, et la mesure était fournie par la distance où le boulet touchait terre (à même inclinaison de la pièce et même poids de poudre) [1].

Puis, en 1742, l'anglais Robins inventa son pendule balistique : un gros bloc de bois suspendu, et sur lequel on tirait. L'angle d'écartement, indiqué par un curseur s'arrêtant au bout de la course, fournissait une sorte de mesure.

Le pendule balistique inspiré par des idées de Cassini a suffi pendant un temps. L'idée était bonne : elle fut développée ultérieurement par nos artilleurs à Gâvres et à Metz, où l'on construisit des pendules très lourds, servant de bloc de réception de projectiles. A Gâvres, ils sont deux, l'un en face

(1) J'emprunte ces détails à A. Marshall, *Explosives*.

de l'autre, l'un portant un petit canon qui tire dans la gueule de l'autre, gueule formée d'un tonneau plein de fragments de bois, où le boulet vient se noyer en donnant à tout le système une impulsion. En tirant à distance variable on mesure la diminution progressive de la vitesse du projectile par la résistance de l'air. Mais plus récemment l'artilleur belge Le Boulengé a préféré mesurer la vitesse du projectile au lieu de la quantité de mouvement communiquée à celui-ci. On a des résultats intéressants, bien que la question ne soit pas encore épuisée, et qu'il reste à faire dans ce domaine.

Mais il faut bien reconnaître que sur beaucoup de points l'incertitude subsiste, en l'absence de la possibilité — actuellement — de déterminer la propriété spécifique des explosifs, c'est-à-dire leur pression maxima, à pleine densité de chargement, par l'expérimentation. On ne peut non plus la déterminer par le calcul, comme nous l'avons observé plus haut : encore une fois, on ne peut calculer le potentiel, le maximum de travail disponible, en multipliant la chaleur de réaction par 425, équivalent mécanique de la chaleur, car on ne tient compte dans ces calculs ni des états extrêmes ni des conditions. Les expériences qu'on peut faire donnent des chiffres évidemment, mais non ceux qui nous intéresseraient le plus. Toutefois, ceux qu'on possède ont leur valeur pour les poudres ; c'est pour les explosifs qu'ils sont insuffisants.

Il serait exagéré de dire qu'on ne sait rien. On commence à savoir, petitement, imparfaitement. On fera mieux avec le temps et le travail. Pour la pratique, on sait déjà beaucoup de choses qui ont leur prix, on a des approximations très suffisantes, et on est assuré que les erreurs d'appréciation pos-

sibles sont limitées : rarement de l'ordre de 1 à 2, jamais de celui de 1 à 10, dit M. Le Chatelier. On en sait assez pour avoir de bonnes raisons de préférer tel explosif dans telles conditions, et tel autre dans d'autres, soit à la guerre, soit dans la paix, sans grande erreur de jugement.

LES ESSAIS PRATIQUES DES EXPLOSIFS

S'il est exact que, étant donnés la formule chimique d'un explosif et les produits ultimes de la réaction, on calcule, grâce à la thermodynamique, le volume des gaz libérés, leur nature, leur température et la puissance de l'explosion, il n'en est pas moins certain que les essais pratiques seuls fournissent des renseignements absolument précis sur l'utilisation pratique des explosifs. Seuls, en outre, ils font connaître les meilleures conditions d'emploi : chaque explosif a ses particularités, ses idiosyncrasies pour ainsi dire, et ce n'est qu'à l'usage qu'elles se révèlent, montrant à quoi il peut être bon — ou ne pas l'être. Il suffit de très peu de chose, — qui n'apparaît pas à la lecture de la formule — pour donner ou enlever beaucoup de valeur à un explosif.

Les essais pratiques portent sur trois problèmes : l'effet utile, la sécurité, la conservation. L'explosif idéal est celui qui fait beaucoup de besogne, se conserve bien, sans altération, et peut être manipulé sans risques. Mais encore, ici comme ailleurs, y a-t-il « la manière ». On ne demande pas à un explosif les mêmes particularités en toute besogne : évidemment telle rendra tel explosif apprécié

comme charge d'obus ; telle autre, tel explosif, pour rupture de roche tendre ; et bien évidemment ce n'est pas le même explosif qui conviendra aux roches tendres et aux roches dures, aux roches qu'on veut réduire en grands ou bien en petits fragments. La formule de réaction n'indique pas *a priori* si la pression, d'où résulte l'effet utile, se développe vite ou lentement. Et ainsi de suite. Les essais pratiques sont donc indispensables. En ce qui concerne l'effet utile, l'essai classique est celui de Trauzl, consistant à faire exploser une petite quantité d'explosif dans un bloc de plomb pour voir quelle cavité il y produit. En comparant le volume de celle-ci au volume d'une cavité type, obtenue avec tel explosif, et qui sert de point de comparaison, on précise suffisamment les idées.

L'expérience est simple : on prend un bloc en plomb *pur*, de 20 centimètres de hauteur et de diamètre, où l'on a ménagé, pendant la fusion, un canal de $2^{cm}5$ de diamètre et de $12^{cm}5$ de long.

On introduit au fond du canal un poids donné d'explosif, on bourre de façon toujours identique, et on fait détoner de façon uniforme. L'explosion détermine la transformation de l'extrémité inférieure du canal en une cavité piriforme dont on détermine le volume en la jaugeant à l'eau. Et on compare ce volume à celui que donne l'explosion du poids identique d'un explosif pris comme type. On peut comparer, ou bien les volumes obtenus avec même charge, ou bien les charges donnant même volume ; la dernière méthode est préférée. La chose importante est d'opérer avec beaucoup de précision, dans des conditions identiques, et de ne comparer entre eux que des corps qui détonent. L'essai n'est valable que si l'explosion est brusque ;

il ne vaut rien avec un explosif lent dégageant beaucoup de chaleur, car, dans ce dernier cas, le plomb se ramollit, d'où une cavité exagérée. C'est ce qui arrive avec l'ammonal et la thermite, corps contenant de l'aluminium qui dégage beaucoup de chaleur.

En faisant l'essai de Trauzl, on obtient le « coefficient de travail » par rapport au coefficient relatif à l'acide picrique, par exemple, pris pour unité arbitrairement. Voici quelques chiffres obtenus par un ingénieur des plus distingués, M. Dautriche, trop tôt enlevé à la science.

EXPLOSIFS	COEFFICIENT de travail	EXPLOSIFS	COEFFICIENT de travail
Acide picrique	100	Favier N_1 c	111
Dynamite gomme	155	Favier N_1 b	103
Dynamite n° 1	102	Favier N 4	78
Grisoutine-roche	100	Explosif o n° 3	68
Grisoutine-couche	75	Explosif o n° 5	86
Grisounaphtalite-roche	103	Cheddite o n° 2	82
Grisounaphtalite-couche	81	Poudre de mine forte	52
Favier N_1 a	81	— ordinaire	48

A côté de l'essai dans le plomb, on pratique aussi l'essai dans la terre. On fore un trou de mine dans un sol de bonne consistance, on y fait exploser une cartouche, et on mesure le volume de la cavité produite. On peut, par ce moyen encore, obtenir des coefficients. Mais ils ne concordent pas nécessairement avec ceux que donnent les essais Trauzl. Observons d'ailleurs que l'homogénéité, dans la terre, doit être moindre que dans le plomb. Ici la terre est plus compacte, là elle l'est moins ; la comparaison entre les résultats obtenus n'est donc pas justifiée.

On peut en dire autant de l'essai dans le béton, étudié par M. Dautriche qui opérait avec des blocs de 50 centimètres de hauteur et de diamètre ; mais le milieu, dans ce cas, est plus homogène, et le classement, par essais dans le béton, est sensiblement le même que par essais dans le plomb.

Quand on a affaire à un explosif très brisant, on fait l'essai par les cylindres de plomb. Sur un bloc de plomb de diamètre et de hauteur invariables on pose une rondelle d'acier, puis l'explosif ; dessous, une enclume sous forme d'une plaque d'acier. Après explosion on mesure la hauteur du bloc de plomb, c'est-à-dire son écrasement. Mais cet essai fait connaître plutôt la pression de détonation que le travail. Aussi lui préfère-t-on l'essai de Quinan. Dans l'appareil de Quinan l'explosion produit deux effets : encore l'écrasement d'un cylindre de plomb, d'un *crusher,* comme disent les Anglais, qui ont imaginé la méthode ; en outre, elle soulève un poids à une hauteur qui varie selon la puissance de travail. On obtient donc deux données qui se complètent. Elles ont une certaine valeur qu'il ne faut pas exagérer, pas plus que celle des données fournies par l'appareil Guttmann, une sorte de bombe manométrique où l'explosif explose entre deux blocs de plomb que la pression force dans deux cavités coniques placées à l'opposé l'une de l'autre.

Une méthode toute différente est celle du mortier-éprouvette. C'est un mortier pouvant recevoir un projectile cylindrique de 15 kilos. On mesure le travail par la portée du tir, pratiqué, naturellement, avec de très petites charges. Mais cet essai n'est employé que pour les explosifs faibles, non brisants.

Quand on a déjà certaines indications par les

essais Trauzl, et qu'on voit que l'explosif essayé paraît plus particulièrement propre à exercer des effets destructeurs, on lui fait faire de petites destructions en faisant exploser un pétard contre un rail ou une plaque de tôle, dont on compare les déformations, les lésions, avec celles de rails ou plaques maltraités par un explosif donné.

Paraît-il plus adapté aux travaux de carrière et de mine ?

On peut faire des essais pratiques industriels. En 1897, il en a été fait à Anzin ; en 1910, M. Dautriche en a fait à Euville.

Voici le résumé des essais théoriques, pour un certain nombre d'explosifs, tel que le donnent MM. Vennin et Chesneau dans leur excellent ouvrage *Les Poudres et les Explosifs* (Paris, Béranger, 1914).

Essais d'Anzin. 1897.

EXPLOSIFS	POTENTIEL THÉORIQUE (1)	ESSAI GUTTMANN	ESSAI TRAUZL	RENDEMENT INDUSTRIEL
Dynamite gomme	100	100	100	100
Dynamite n° 1	75	67	66	67
Grisoutine gomme, 70 °/o.	41	72	66	69
Grisoutine B Ablon, 88 °/o	37	60	50	53
Favier Nic, 87,4 °/o	65	86	71	65
Poudre noire ordinaire de mine. .	43	28	31	31

(1) Calculé d'après la formule chimique, les réactions et les produits ultimes.

Ce qui est intéressant, c'est la comparaison de la dernière colonne (Rendement industriel) avec les précédentes. Le rendement industriel peut être supérieur à celui que faisait pressentir la théorie. On voit qu'il coïncide de façon générale avec le chiffre de l'essai de Trauzl : la concordance est très bonne, et on en peut conclure que l'essai Trauzl est pour le moment « le meilleur des essais pratiques de laboratoire ».

Ce serait une grande erreur que de s'en tenir à la théorie et de se contenter des déductions, autorisées par la thermodynamique, que l'on tire de la formule, de l'équation des réactions et de la nature des produits ultimes. Les essais sont indispensables. Sans eux, on ne saurait pas l'importance de la densité de chargement. Celle-ci ne doit pas être exagérée, car alors l'explosion comporte un rendement moindre, et il peut rester de l'explosif qui n'a pas détoné et constitue un danger. La grosseur des grains a son importance aussi : les gros grains ont un rendement moindre que le fin pour un même explosif. La théorie ne dit rien de tout cela. Les essais sont indispensables, et on doit les varier autant que possible.

Les essais de sécurité ne sont pas moins nécessaires. Voilà un explosif dont on ne sait encore rien. Est-il « insensible » ? Les agents extérieurs l'influencent-ils facilement ? Peut-on le battre ou le laisser tomber sans danger ? On tient à savoir ce qu'il en est, pour régler sa conduite à son égard. Il faut savoir à qui on a affaire.

On commence par déterminer la sensibilité à l'amorce, en cherchant, par tâtonnements, le détonateur le plus faible qui le fasse exploser. C'est ainsi qu'on a appris que les explosifs de sûreté

demandent une amorce de 1gr50 ou 2 grammes, alors que le coton-poudre, les dynamites se contentent de 0gr25. Rien dans la théorie ne fait pressentir ces différences. Rien n'indiquait que les explosifs pulvérulents ont plus de sensibilité que les mêmes explosifs à l'état compact. Aussi a-t-on souvent désensibilisé des explosifs en leur imposant l'état compact par fusion (acide picrique), gélatinisation (coton-poudre), congélation. Mais alors il faut augmenter la force du détonateur, parfois placer entre l'amorce et l'explosif un détonateur secondaire qui, mis en branle par le premier, met en branle le second.

Pour vérifier la sensibilité d'un explosif, on ne manque jamais de chercher dans quelle mesure il explose sympathiquement, par influence. Cela a un grand intérêt pratique. L'explosion par influence, la voici : vous faites exploser une cartouche de dynamite, par exemple. Si une autre cartouche se trouve dans le voisinage, à petite distance, l'onde de choc émise par la première se convertissant en chaleur dans la couche superficielle de la dernière, détermine l'explosion de celle-ci. La sympathie, dans cette affaire, n'a rien de mystérieux : en réalité, la seconde cartouche reçoit un coup. Ce coup, très violent à proximité du centre d'explosion, perd très vite et énormément de sa force. Aussi l'explosion par influence n'a-t-elle lieu qu'à très petites distances pour petites quantités d'explosif : avec le coton-poudre (100 grammes), à 80 centimètres ; avec la dynamite, 1 mètre et 1m80 ; avec les cheddites, à 3 ou 4 centimètres seulement. La distance où la « sympathie » reste efficace varie selon l'explosif, la charge et différentes conditions. Il faut voir si l'explosif présente des risques d'in-

cendie, s'il brûle facilement. La poudre, on le sait, ne brûle que trop facilement, et si vite que sa déflagration dégénère en explosion, comme résultat pratique. Les cheddites brûlent très lentement; d'autres s'éteignent dès qu'on éloigne la bougie.

Il faut voir quelle est la sensibilité à la chaleur, à l'élévation de température, lente ou rapide : expériences faciles à faire et qui donnent les températures où les différents explosifs déflagrent, renseignement très utile pour la pratique.

Certains explosifs ne supportent pas qu'on les touche : l'iodure d'azote détone sous le choc d'une barbe de plume, aussi s'abstient-on généralement de l'isoler. L'or fulminant explose quand on le touche avec un objet dur : et il y a plusieurs corps de ce genre. Les azides (trinitrides), sels de l'acide hydrazoïque, sont encore très sensibles. Divers explosifs supportent mal les chocs et les coups ; on mesure leur sensibilité en les soumettant au choc d'un mouton gradué. Les explosifs de sûreté ont une sensibilité faible, parfois très faible. Mais encore cette sensibilité varie-t-elle selon la texture et d'autres conditions. Parfois on éprouve la sensibilité des explosifs en leur tirant dessus : système qui a l'avantage de permettre d'agir sur une masse d'explosifs assez importante et à distance sûre en même temps, pour le cas où elle sauterait. On ne sait jamais bien au juste.....

Naturellement, à propos des essais de sécurité, une attention particulière est prêtée aux conditions de fabrication et aux dangers qu'elles peuvent présenter : aux réactions, aux vapeurs, etc. Il faut, comme on peut se l'imaginer maintenant, un temps assez long avant d'avoir fait le tour d'un explosif

et d'être en état de dresser sa biographie, de dire ce qu'il est, ce qu'il peut faire, à quoi il est bon et où il ne vaut rien.

Ce n'est pas fini, toutefois. Il ne suffit pas d'avoir essayé un explosif, de l'avoir montré terrible quand il se fâche, mais d'une douceur incomparable tant qu'on le traite avec douceur, et même quand on lui donne des coups de bâton; il ne suffit pas de lui avoir constitué un dossier qui doit le faire bien recevoir, je ne dirai pas partout, car nul explosif n'est dans ce cas, mais dans certains milieux pour lesquels il semble avoir été fait, en raison de ses particularités et de ses caractères : il faut encore s'être assuré de sa stabilité chimique et physique.

Il faut déterminer par l'expérimentation s'il craint l'humidité, s'il craint d'être tassé, comprimé, s'il redoute la chaleur, s'il transpire, s'il laisse exsuder des vapeurs dangereuses (comme la dynamite), s'il redoute la congélation, et quelles influences les agents physiques en général exercent sur sa constitution et sa longévité. Sa longévité, toutefois, dépend surtout de sa stabilité chimique. Et cette dernière est essentielle, car, si l'explosif varie, se modifie, les effets qu'on en attend seront inconstants. Il ne vaudra rien, si on ne peut compter sur lui. Et s'il se modifie, il peut devenir plus sensible et constituer un gros danger. Cette stabilité chimique, il faut la mettre à l'épreuve en faisant agir sur l'explosif des influences physiques variées et en voyant quel est le résultat. C'est là une étude capitale, demandant beaucoup de temps. Car, il ne faut pas se le dissimuler, les explosifs sont des personnages non pas sensibles et vertueux, comme ce fut la mode, mais sensibles et inconstants. Ils sont en équilibre instable. Les plus petites influences

peuvent les faire verser, c'est-à-dire exploser. Et ces petites influences existent partout : on ne peut soustraire les explosifs à un contact avec un milieu à la fois physique et chimique : aux influences de la température, de l'humidité, des gaz de l'air, etc. Des réactions lentes, résultant ou bien de l'influence de tels éléments de l'explosif sur tels autres qui en font aussi partie, ou sur des impuretés qui ont pu se faufiler, ou encore de l'influence du milieu ambiant sur tel des éléments de l'explosif, sont toujours possibles. En fait, on n'a guère confiance dans les explosifs. On ne les garde pas longtemps. Au bout d'un temps qui varie, — et qui a été déterminé précisément par les essais pratiques de conservation et de sécurité, — on les détruit d'une manière ou d'une autre. Ils ont cessé de plaire. Ou plutôt on sait trop combien ils sont devenus fantasques, incertains, déséquilibrés, et on s'en sépare.

L'AMORÇAGE DES EXPLOSIFS

Nul ne l'ignore, la vertu d'un explosif ne dépend pas seulement de sa personnalité ni des conditions qu'on lui a faites : le mode d'amorçage joue un rôle capital. Rien de surprenant à cela après ce qui a été dit de l'onde explosive : l'allumage simple fait brûler lentement un corps, l'amorce le fait détoner, dans un cas il se décompose progressivement, dans l'autre de façon foudroyante. L'amorçage a donc une importance capitale dans la pratique des explosifs. Encore une fois, la cartouche de dynamite qui nous a déjà servi brûle inoffensivement quand on y met le feu ; elle explose quand on fait partir à

côté d'elle une capsule de fulminate de mercure. Dans un cas, on a mis le feu : elle brûle ; dans l'autre, on a déterminé une onde explosive, et elle explose. Une expérience bien simple montre que cette onde explosive se propage du reste à l'ambiance et que le choc mécanique qu'elle produit suffit à déterminer l'explosion par influence. Placez en ligne une série de cartouches de dynamite à 50 ou 70 centimètres d'espacement, et faites exploser la première : toutes les autres font de même tour à tour. L'onde déclenchée par la première est arrêtée dans la seconde où son énergie mécanique est convertie en énergie calorifique, d'où échauffement et décomposition explosive, et ainsi de suite.

La sensibilité des explosifs est très variable. Le coton-poudre mouillé veut une excitation dix milliards de fois plus forte que le fulminate d'argent. (H. Le Chatelier.)

Quelle est donc l'action de l'amorce ? Elle agit mécaniquement ou bien en échauffant. Car, en somme, l'action de l'amorce est ou bien calorifique, ou bien mécanique : l'électricité souvent employée n'agit que transformée en chaleur.

La chaleur, à un degré qui est variable, fait toujours exploser un explosif. Tout explosif a sa température d'explosion propre. On la détermine expérimentalement, et on constate, par exemple, que le fulminate explose à 175° ; la poudre sans fumée à 180° ; la dynamite à 200° et la poudre noire à 280° C. Mais la réaction explosive commence, se met en train bien plus tôt. Elle est lente, par exemple, pour le coton-poudre, à la température ordinaire : au train dont elle va, l'explosion ne se produira qu'après des siècles... Chauffons à 110°, et c'est autre chose : le coton-poudre explosera en

quelques mois. Vers 100°, la vitesse de réaction passe au double pour une élévation de 5°. Plus près de la température d'inflammation, la vitesse devient telle que l'explosion se fait en quelques mois, en quelques semaines, en quelques jours, en quelques heures, en quelques minutes. Et à cette température même, la vitesse est devenue telle que l'explosion se produit. Bien entendu, au bout d'un temps qui varie, selon le poids d'explosif employé, en particulier. Dans un même milieu, à 180°, 1 gramme de coton-poudre met beaucoup moins de temps à prendre la température de 180° que ne le fait 1 kilo.

Cette action de la chaleur a été utilisée pour la vérification de la stabilité de la poudre sans fumée. La diminution de stabilité de celle-ci s'accompagne de phénomènes chimiques appréciables, du dégagement de vapeurs nitreuses. On chauffe de la poudre à une température donnée et on voit au bout de quel temps les vapeurs nitreuses apparaissent. Une formule qui traduit les relations de la température avec la vitesse des phénomènes chimiques permet de conclure de l'expérience combien de temps la poudre résistera à une température donnée (magasins, soutes de navires, etc.).

La température d'inflammation est très constante pour un même explosif. Si l'on constate ou croit constater des différences, c'est, le plus souvent, qu'on n'a pas pris garde à une imprudence qui est la cause véritable. C'est encore par une erreur de fabrication qu'une impureté a pu se produire, plus inflammable que le produit pur. Théoriquement, l'inflammation n'entraîne que la déflagration : l'explosif brûle, mais ne détone pas. En pratique, il détone parfois. On a vu exploser l'acide picrique,

qui, théoriquement, à la chaleur, finit par s'enflammer après distillation et décomposition : dans des incendies des provisions de mélinite (faite avec l'acide picrique) ont détoné contrairement aux prévisions. Pourquoi ? On ne sait au juste, mais il faut être averti de la possibilité d'une non-concordance de la pratique avec la théorie.

Du moment où le chauffage d'un explosif, ou plutôt son ignition, ne produit généralement que sa déflagration, sa combustion lente, on évite d'employer ce genre d'amorçage. Ce qu'on demande à un explosif, c'est d'exploser, de détoner. Et alors l'excitation mécanique est préférée à la calorifique.

L'excitation mécanique, c'est un coup, ou bien son équivalent, l'onde explosive résultant de l'explosion d'une petite quantité d'un détonateur très puissant et très sensible, auprès du corps dont on veut déterminer la décomposition.

Comme une action mécanique peut enflammer la poudre, on évite de la manier brusquement, ou bien de marcher dessus. Il en va de même pour les explosifs : on les ménage, on leur évite les heurts. Le plus souvent, il est vrai, ces heurts n'auraient pas grand inconvénient.

Et, pour provoquer la détonation, on a recours aux détonateurs, à des explosifs puissants et sensibles. Certains, trop sensibles, ne peuvent être utilisés : l'iodure d'azote par exemple. Mais les fulminates, de mercure en particulier, rendent les plus grands services. Ils sont assez sensibles pour détoner par la chaleur comme par un choc moyen. Ils le sont assez peu pour que leur manipulation soit possible, et c'est là un point de grande importance.

Ces détonateurs, fulminate de mercure, azoture

de plomb, azides (trinitrides de sodium ou de plomb), sont placés dans un récipient séparé contre la masse de l'explosif, et explosent sous l'influence d'une action mécanique ou calorifique. L'onde explosive résultant de la décomposition du détonateur frappe l'explosif, est arrêtée par lui et transformée en chaleur : la couche superficielle, portée à haute température, explose, et agit sur la couche voisine, et ainsi de suite, le tout très vite, presque instantanément. Il y a des cas où les choses sont plus compliquées ; avec les explosifs très rétifs, exigeant une excitation puissante, on emploie deux détonateurs. Le premier, de sensibilité moyenne, au fulminate, sert à en faire exploser un second, plus dur à la détente, et plus puissant en même temps, et c'est l'onde explosive du second qui fait détoner la masse utile, l'explosif proprement dit, qui est encore plus rétif et plus puissant. C'est l'explosion à 3 degrés : normalement elle est à 2 degrés. Le détonateur intermédiaire varie : c'est du coton-poudre sec pour amorcer le coton-poudre humide des torpilles ; c'est l'acide picrique pulvérulent pour amorcer la mélinite (acide picrique fondu) ; le primaire, c'est du fulminate.

Notons en passant que le grand avantage de la mélinite (acide picrique fondu, et... le reste) est, comme l'a dit pittoresquement Eugène Turpin, son inventeur, que « c'est un explosif qui n'explose pas », ou à peu près : un explosif très stable, très dur à la détente, qu'on a pu mettre dans les obus sans risquer de voir éclater ceux-ci dans le canon même, au départ, comme cela a eu lieu avec la dynamite ou la nitroglycérine. Seulement, pour pouvoir utiliser cet acide picrique fondu, il fallait introduire un détonateur intermédiaire : le fulmi-

nate brisait le bloc d'acide picrique, mais ne le faisait pas exploser. En fait, la notion du double détonateur a été très fructueuse ; elle a permis l'emploi par l'artillerie d'explosifs extrêmement puissants, qui, en même temps, étaient très peu sensibles ; elle a rendu possible l'utilisation d'autres explosifs, nitrotoluènes, nitrobenzènes, nitronaphtalènes, etc., dont autrement on ne pouvait guère tirer parti.

Le détonateur joue donc un rôle capital dans l'utilisation des explosifs. Il constitue un intermédiaire plus sensible, qu'on fait partir par la chaleur ou le choc, et qui, à son tour, fait partir l'explosif dont on l'a rendu maître.

L'étude de la sensibilité générale des explosifs est donc d'une grande importance et il est essentiel de bien choisir l'amorce, de ne pas produire une simple déflagration de l'explosif quand c'est la détonation qu'on désire. Comme on dispose de détonateurs variés et gradués, les erreurs sont l'exception.

LE CHAPITRE DES ACCIDENTS

Des accidents se produisent pourtant. Je ne parle pas de ceux qui sont dus à des erreurs, des négligences, des imprudences, et qui se présenteront toujours, car l'homme prend trop vite le mépris du danger, dans les fabriques et dépôts, ou bien dans les parcs d'artillerie. Je n'ai en vue que les accidents qui ne devaient pas se produire, qui étaient théoriquement impossibles.

L'explosif est, par définition et par profession,

très sensible et instable. Ce sont ses vertus, cette sensibilité et cette instabilité ; ses périls aussi : non pour lui, mais pour le voisinage.

On croit bien connaître toutes les faiblesses d'un explosif, et on s'est attaché à écarter les tentations : et voilà pourtant un accident qui se produit contre toute prévision. A la cartouche de dynamite, à qui l'on présente une allumette, il arrive d'exploser au lieu de brûler. Pourquoi ? Théoriquement, et d'après les expériences, l'acide picrique est insensible à la chaleur. Elle ne le fait pas exploser. Et pourtant il a explosé dans certains incendies. Théoriquement on peut battre comme plâtre de la poudre noire sans qu'elle s'enflamme. Et pourtant on l'a vu déflagrer à la suite de chocs ou frottements insignifiants. La poudre sans fumée est présentée comme insensible aux actions mécaniques ; on l'a pourtant vue s'y montrer très sensible. Et ainsi de suite. On sait bien qu'en théorie chaque explosif a ses côtés faibles, sa sensibilité spéciale, qu'il y a des influences auxquelles on ne doit pas l'exposer : mais on sait aussi qu'en pratique il a souvent failli dans des cas où il eût dû résister. Etait-il moins pur, contenait-il des composés trop sensibles ? Tant d'hypothèses sont permises... Par contre, en certains cas, les explosifs offrent une résistance inattendue et refusent d'exploser sous les conditions où théoriquement c'est leur devoir absolu. Caprice ? Autant dire « hasard », qui signifie qu'on ne sait pas, qu'on ne voit pas. Il n'y a pas de hasard. L'explication est ailleurs. En bien des cas, pour commencer, on croit connaître les conditions, et il y en a qu'on ignorait. Les eût-on connues, rien ne surprenait dans ce qui s'est produit.

Et, d'autre part, il y a le fait que les explosifs sont

sujets à des altérations dites spontanées, c'est-à-dire dues à des causes qu'on n'aperçoit pas encore : il importe de toujours définir les termes. Des réactions variées se produisent : soit en eux, entre les éléments qui les composent ; soit entre eux et l'ambiance, solide ou gazeuse. Ils sont au contact de corps divers : cela suffit pour que lentement, progressivement, s'établissent des réactions de décomposition. Dès lors, l'explosif n'est plus lui-même, il est devenu un personnage nouveau dont on ne sait rien de précis, dont il faut tout attendre. La sagesse, en pareil cas, c'est de ne plus avoir de rapports avec lui. Ainsi procède-t-on avec la dynamite. Dès qu'elle atteint un an d'âge il faut la détruire et n'en pas faire usage. Elle est devenue chose incertaine et dangereuse. Pour le coton-poudre c'est autre chose. Comme il faut toujours avoir une grosse quantité de coton-poudre toute prête pour le cas de guerre, et qu'il est, lui aussi, instable et se décompose, on a cherché des moyens de le stabiliser, c'est-à-dire de lui donner le moyen de durer sans vieillir, de résister au temps. On y est parvenu d'ailleurs : nous verrons plus loin comment.

CLASSIFICATION DES EXPLOSIFS

Dans leur excellent ouvrage, MM. L. Vennin et G. Chesneau classent les explosifs de la façon suivante :

a) *Mélanges explosifs de corps non explosifs.* — Ce sont les mélanges de corps comburants avec des corps combustibles. Le comburant est généralement

fourni par les nitrates, le peroxyde d'azote, les chlorates ou perchlorates, quelques oxydes, bichromates, etc..., corps riches en oxygène ; par exception, c'est l'air ou l'oxygène à l'état liquide. Le combustible varie : charbon, goudron, pétrole, naphtaline, cellulose, soufre, etc... ; parfois c'est un gaz : l'hydrogène dans le gaz détonant.

b) *Mélanges explosifs formés au moment de l'emploi.* — Ils appartiennent à la catégorie précédente, mais avec cette particularité qu'il n'est possible de les préparer qu'au dernier moment, ce qui n'est pas le cas des premiers.

c) *Mélanges contenant des corps explosifs.* — Dans ces mélanges, il faut ajouter quelque chose à l'explosif pour le rendre plus maniable (dynamite), pour lui donner quelque chose à brûler parce qu'il est trop riche en oxygène (dynamite au charbon), pour augmenter son pouvoir comburant parce qu'il est pauvre en oxygène, au contraire, ou même n'en contient pas (acide picrique) ; enfin il y a le cas où l'on associe un explosif pauvre en oxygène à un autre riche en ce gaz (nitroglycérine et nitrocellulose).

Les réactions explosives se présentent donc comme consistant essentiellement en combinaisons de corps comburants et combustibles, ou combustions. En fait, toutes présentent ce caractère dans les explosions usuelles ; les cas où il y a décomposition en éléments plus simples, ou destruction d'un édifice moléculaire peu stable (sulfure d'azote par exemple) sont l'infime minorité. Une explosion, c'est essentiellement une combustion très violente, très rapide, plus ou moins complète d'ailleurs,

comme le fait voir la composition des gaz constituant les produits ultimes de la réaction. On n'ignore pas d'ailleurs que, dans les mines de houille où il y a des poussières de charbon, et dans diverses usines où il y a des poussières inflammables (farine, etc.), des explosions se produisent par ignition de celles-ci.

LA POUDRE NOIRE

Le plus ancien explosif est la classique poudre à canon, qui nous serait venue de Chine par les Arabes. Les Chinois n'ont pas inauguré le canon, toutefois; la poudre leur servit à faire des fusées et des mélanges incendiaires. Le premier fusil paraît avoir été créé par les Arabes et il lançait des projectiles en forme de flèches. Il n'y aurait, en tout cas, aucun mérite d'inventeur à attribuer à Roger Bacon, ni au moine Schwartz, ni au moine Severinus, ni au juif Tibseles, en ce qui concerne la découverte de la poudre.

Au treizième siècle, en tout cas au quatorzième, canon et bombardes existaient, et, s'il faut en croire Machiavel, « ce système d'armement a été imaginé par les Allemands ». (Déjà le bluff boche...) En 1338, la poudre jouait un rôle au siège de Puy-Guillaume (Puy-de-Dôme).

Depuis le quatorzième siècle, la poudre noire est en usage. On sait en quoi elle consiste ; depuis 1578, le dosage rituel est : 75 de salpêtre ou azotate de potasse pour 12,5 de charbon de bois et 12,5 de soufre, en moyenne. La brune est faite avec du charbon calciné à 300° seulement (au lieu de 400°

et plus pour la poudre noire), qui reste très riche en hydrogène et très combustible. Elle laisse un résidu solide représentant plus de moitié de son poids, d'où la fumée. Elle déflagre, elle ne détone pas. Les explosions sont moins à redouter. Mais elle est très inflammable par choc ou frottement.

Son rôle comme explosif est devenu très limité, car c'est un explosif lent; la propagation de la combustion du soufre et du charbon se fait de façon intermédiaire à la très lente et à la très rapide, par déflagration. La poudre noire, malgré la concurrence de la dynamite, conserve la faveur de beaucoup de carriers, qui la préfèrent comme moins apte à fendre et déchiqueter la roche et comme donnant plus de grands morceaux. Comme agent de propulsion, elle a tenu une grande place, toute la place, plus exactement, mais celle-ci lui a été ravie par la poudre sans fumée, plus puissante. Jusqu'à ces dernières années, c'était la poudre noire qui servait à charger fusils et canons. Elle se conservait bien : on en voit aux Invalides, datant du grand Condé, et qui est encore en bon état. Mais elle a le défaut d'être brisante. Elle agit trop vite; elle brûle trop promptement; c'est détestable pour l'arme, fusil ou canon, et pour le projectile aussi, car on ne peut lui assurer une bonne portée qu'en risquant de faire éclater l'arme. Et même avec ce risque, on ne réussit pas. De ce médiocre agent de propulsion, on ne s'est si longtemps contenté que faute de mieux. La majeure partie de sa force expansive se développe alors que le projectile est encore au repos et se dépense inutilement contre les parois du canon. La combustion se ralentit au moment où s'ébranle le projectile, juste quand elle devrait s'accroître. Déplorable

affaire aux points de vue balistique et économique.

On s'en rendait bien compte, et depuis longtemps on cherchait à rendre progressive la poudre noire, à lui assurer une combustion plus lente. Dès la Révolution, on y tâchait, d'abord en fabriquant la poudre à gros grains, puis par d'autres procédés. En Allemagne, vers 1881, on lançait la poudre chocolat (77 ou 79 salpêtre, 18 ou 20 charbon et 3 soufre) où le charbon, fabriqué avec de la paille ou du bois, est très dur. La combustion en est plus progressive; la poudre chocolat prit partout à la guerre la place de la poudre noire. Elle se présente sous forme de prismes troués. C'était un progrès relatif. On devait bientôt trouver beaucoup mieux en France.

La poudre noire joue pourtant encore un rôle en artillerie. Elle servait hier et, sans doute, sert aujourd'hui encore, à charger l'obus à balles ou shrapnell. Les balles, au nombre de trois cents, sont noyées dans la poudre; quand celle-ci déflagre, l'obus s'ouvre, fait office de canon et les balles se répandent en avant chassées par l'explosion.

Il faut conserver quelque reconnaissance à la poudre. Elle a été un instrument de civilisation. Elle a permis de tenir en échec les Barbares et d'abattre la féodalité. Elle a beaucoup fait et fait encore beaucoup pour l'industrie depuis le dix-septième siècle, en ouvrant les galeries de mines et permettant de tirer du sol les ressources minérales et les combustibles, en perforant les montagnes et facilitant les transactions et rapports. On peut donc ne pas partager l'opinion de Sébastien Munster qui, en 1554, estime que « le vilain qui apporta sur la terre une chose aussi affreuse n'est certes pas digne

d'avoir son nom inscrit dans les mémoires des hommes ». En fait, digne ou non, il ne l'a pas...

Les poudres noires usitées en France sont de six ou sept types différents : poudres de chasse, de guerre, brune, poudres de mines (fortes ou ordinaires), pulvérisée, poudre de mine lente. Les trois éléments traditionnels s'y trouvent dans des proportions variant de 40 à 78 pour le salpêtre, de 3 à 30 pour le soufre, de 12 à 30 pour le charbon.

Aussi la force et le potentiel de ces diverses poudres varient-ils sensiblement. Ils varient avec le dosage, et aussi avec la texture. On réduit la vivacité de la poudre en augmentant la grosseur de ses grains. Diverses conditions agissent de même ou bien en sens inverse : les procédés de fabrication, les tours de main, la texture de la poudre jouent un grand rôle, par conséquent ils permettent d'agir sensiblement sur les propriétés de celle-ci, pour l'approprier à des besognes variées.

On observera que la poudre se rattache au feu grégeois dont elle diffère par la présence du charbon qui manque au mélange incendiaire des anciens.

Le kilo de poudre dégage 225 litres de gaz et 740 calories. C'est Gay-Lussac qui, le premier, a fait connaître la composition des produits résultant de la déflagration de la poudre : acide carbonique 53, oxyde de carbone 42, azote 5, avec des traces de bioxyde d'azote, de carbure d'hydrogène, de carbonate et sulfate de potassium, de sulfures, d'hyposulfites. La température de combustion est de plus de 2.000° C., et sous densité de chargement égale à l'unité, c'est-à-dire à raison de 1 gramme par centimètre cube, la pression en vase

clos est de près de 7.000 atmosphères. Très sensible au choc, aux pressions, elle est d'une fabrication difficile.

Le feu grégeois qui, en 668, dispersa les Arabes occupés à assiéger Constantinople, et en chassa de nouveau la flotte de 716 à 718, ne contenait probablement pas de salpêtre à l'origine. Mais au treizième siècle, il en contenait ; les Arabes le connaissaient, peut-être par l'intermédiaire des Chinois. Roger Bacon a certainement connu le salpêtre (Voir son *Epistola de secretis* et l'*Opus tertium*).

EXPLOSIFS CHLORATÉS

En 1785, Berthollet, le chimiste français, ayant découvert le chlorate de potasse, pensa pouvoir le substituer au salpêtre dans la poudre noire. C'était faisable en effet, et rationnel : car le chlorate est riche en oxygène, et peut plus facilement que le nitrate le céder au soufre et au charbon, mais c'était dangereux aussi. La poudrerie d'Essonnes où se préparait la nouvelle poudre sauta sous les yeux de l'illustre savant et de Lavoisier qui l'accompagnait. L'événement était dû au chlorate de potasse, qui est d'une grande sensibilité, et qui, à chaud, explose par le frottement, et la catastrophe découragea pour un temps les chercheurs. En lui-même, le chlorate n'est pourtant pas si dangereux : mais au voisinage du soufre et de divers combustibles il prend une sensibilité redoutable et explose.

Aussi, quand les chimistes, après un certain temps, se remirent à interroger le chlorate, ils évitèrent le soufre. La poudre Berthollet comprenait

75 de chlorate, 12,50 de soufre et 15 de charbon. Dans la poudre Augendre de 1849, le chlorate était associé au prussiate de potasse et au sucre ; en 1850, la poudre Melville était faite de chlorate, avec sulfure d'arsenic et sulfate de potassium ; en 1852, la poudre Davay comprenait chlorate, nitrate et prussiate. Français, Russes, Anglais et Américains rivalisèrent d'ingéniosité pour rendre utilisable le chlorate. En 1882, une poudre chloratée industrielle fit son apparition : l'Asphaline, composée de chlorate et nitrate de potasse et de son. Le Prométhée, le Rack-a-rock qui suivirent furent plus perfectionnés. Les poudres au chlorate nécessitant un malaxage pour la confection des mélanges sont évidemment d'une fabrication impossible. De là, le succès des explosifs type Rack-a-rock.

Ce sont des explosifs formés d'un liquide et d'un solide qu'on ne mélange qu'au moment de s'en servir.

Le Rack-a-rock de l'Américain Devine comprend 79 de chlorate de potassium : le combustible consiste en nitrobenzol (21) avec ou sans acide picrique ou substances nitrées diverses. Mais la forme sous laquelle le chlorate est le plus avantageusement employé paraît être celle qu'il prend dans la Cheddite. La Cheddite, découverte par l'Anglais E. A. G. Street, et qui tire son nom de Chedde, en Haute-Savoie, où elle est fabriquée par voie électrolytique, se fait selon plusieurs formules dont il est inutile d'indiquer le détail. Ce qui caractérise la Cheddite c'est l'enrobement du chlorate dans une huile ou une graisse qui en fait un produit plus plastique et presque insensible aux agents atmosphériques. Qu'il suffise de dire que les Cheddites sont composées de chlorate de potassium (80)

additionné de nitro-naphtaline (12) et d'un hydrocarbure, paraffine ou huile de ricin par exemple (8); autrefois on y joignait un composé picrique. Les Cheddites sont de types divers, répondant à des situations diverses. Elles ne coûtent pas trop cher, et c'est une considération qui compte. Il en est qui explosent avec douceur, pour ainsi dire. Selon l'amorce et selon leur composition, elles déflagrent ou bien détonent avec violence. La Steelite anglaise et la Silesia allemande sont des sœurs de la Cheddite. Quoique pouvant déflagrer au lieu de détoner, ces produits ne sont employés que comme explosifs (bombes, obus, etc.). Ils ne sauraient servir de poudre de propulsion.

Les avantages de la Cheddite sont évidents. La préparation du chlorate de potasse est facile, la fabrication simple; le produit peu sensible au choc; l'inflammation spontanée n'existe pas, et la stabilité est grande. L'huile, la vaseline, la paraffine, servent à enrober le chlorate et à le mettre à l'abri de l'humidité et du frottement. La Cheddite s'emploie en cartouches paraffinées. Elle donne beaucoup d'oxyde de carbone, ce qui est un inconvénient dans les galeries de mines. La Cheddite demande une forte amorce de fulminate pour exploser, surtout quand elle est vieille, et sa puissance spécifique la rend comparable aux dynamites. Celle-ci peut être renforcée en substituant au chlorate de potasse, le chlorate ou surtout le perchlorate d'ammoniaque. On pourrait l'utiliser comme agent de propulsion, car elle déflagre par la chaleur; mais elle risque de détoner aussi sous l'influence de cet agent. Aussi ne l'utilise-t-on que comme explosif brisant.

A côté des explosifs au chlorate, il y a quelques

explosifs aux perchlorates assez appréciés à cause de leur stabilité : ils entrent dans la composition de la Permonite, de la Polarite, de la poudre Ajax, du Dynobel.

La Cheddite est quotidiennement employée en ce moment pour charger obus, grenades et bombes d'aéroplane, comme les autres explosifs de guerre.

C'est aussi avec le chlorate de potasse que sont chargées une partie des balles explosives des Autrichiens. Je dis partie, car dans celles qu'a examinées le D[r] Lardy, de Genève, c'est de la poudre noire qu'il a trouvée. Ces balles explosives, authentiques, prises par les Serbes dans le matériel de guerre autrichien, balles qu'il ne faut pas confondre avec celles qu'on nomme expansives ou dum-dum, et qui, ayant la pointe en plomb, s'aplatissent et se déchirent, ces balles explosives, niées avec des protestations indignées de vertu et d'humanité par la *Kultur* germanique, sont figurées par M. Lardy. Ce sont des projectiles du calibre d'ordonnance, en tous points semblables aux projectiles usuels et licites : un petit renflement à la pointe permet toutefois de les distinguer de ceux-ci, même de nuit. L'avant de la balle est en plomb : tout son milieu constitue un petit obus : la chemise en acier est pleine de poudre noire, ou bien d'un mélange explosif de chlorate et de nitrate de potasse avec du sulfure d'antimoine et du verre pilé, au culot, un percuteur qui, dès que la balle est arrêtée dans la blessure, glisse en avant, en vertu de la vitesse acquise, et vient frapper une amorce qui fait exploser le mélange. C'est la balle explosible parfaitement caractérisée : la balle-obus, interdite par les conventions, mais que le mépris des « chiffons de papier » permet à certains belligérants d'em-

ployer. Cette balle a été trouvée non seulement dans les caissons de munitions allemandes, mais aussi dans les blessures des Serbes ; elle a été employée encore contre nos soldats, en particulier à Crouy, au col de La Chipote, à Ypres et à Arras (1).

LES FULMINATES

Continuant selon l'ordre chronologique, nous voyons que dès 1799 un Anglais, E. Howard, membre de la Société royale de Londres, obtenait le fulminate de mercure. On connaissait les fulminates d'or et d'argent : Pepys en parle en 1663. Mais ils sont d'une sensibilité exagérée. Howard, en traitant l'azotate de mercure par l'alcool et l'acide azotique, obtint un fulminate moins nerveux. Quinze ans après, les capsules au fulminate étaient appliquées au fusil ; elles durèrent jusqu'au moment où Lefaucheux inventa son fusil et ses cartouches. Beaucoup trop sensible et altérable pour servir d'explosif, le fulminate de mercure sert exclusivement à fabriquer des capsules et amorces qui engendrent une onde explosive et, par là, font détoner les explosifs. Incapable de déflagrer, il détone invariablement. Il est très puissant et met en marche les explosifs les plus durs à la détente : c'est dire son importance. Observons que, si l'on connaît la formule du fulminate par les recherches

(1) Voir Lardy, *Journal* de Lucas Championnière, 10 juin 1915 ; Mauclaire, *Soc. de Chirurgie,* séance du 14 avril 1915, et Reiss, *Revue de Paris,* 1er avril 1915.

de Berthelot et Vieille, on reste perplexe à l'égard de sa nature. On y voit un sel d'un acide fulminique hypothétique, qui aurait, en tout cas, des rapports avec le cyanogène. Le fulminate est un mystère, mais un mystère utilisable, et qui rend de grands services en pratique, à condition de lui associer des substances modératrices pour l'empêcher d'exploser tout seul.

Il est employé dans bien des projectiles explosifs ; il sert aussi dans les exploitations industrielles ; c'est un collaborateur très apprécié, toujours pour déterminer la détonation de la charge du projectile ou de la mine.

Nous avons vu que certains corps déflagrent (poudre noire) ; certains déflagrent ou détonent selon les conditions (explosifs chloratés) ; les fulminates, eux, ne savent que détoner. Rien de plus explosif. Le kilo de fulminate de mercure dégage 314 litres de gaz ; la température d'explosion est de 3.000° C. C'est un corps qui se décompose très facilement à l'humidité, et qui est d'une sensibilité extraordinaire aux frottements et chocs. Chacun a vu les capsules de fulminate exploser sous le percuteur.

Le fulminate est souvent remplacé, comme initiateur de détonation ou d'explosion d'une substance explosive, par l'azide d'argent, un sel d'acide hydrazoïque (composé d'azote et d'hydrogène) qui paraît préférable à divers égards.

C'est peut-être le plus formidable des explosifs. Détonant dans son propre volume, il développe une pression de 28.750 kilos par centimètre carré (au lieu de 12.376 pour la nitroglycérine et 9.825 pour le fulmicoton). Aussi a-t-on soin, même pour l'employer comme détonateur, de le domestiquer quel-

que peu, en y ajoutant d'autres substances qui en diminuent la sensibilité et la violence.

LES CELLULOSES NITRÉES

Trente-trois ans plus tard, en 1832, un nouveau type d'explosif prenait naissance. C'était à Nancy : le chimiste Braconnot, notre compatriote, en traitant l'amidon, les fibres de bois et d'autres substances analogues, par l'acide azotique concentré, obtenait un produit léger, blanc, prenant feu avec une facilité toute particulière. Il lui donna le nom de xyloïdine, rappelant sa parenté avec le bois. Ce fut le début des nitrocelluloses dont le coton-poudre fait partie.

En 1838, un autre Français, Pelouze, répétait les expériences de Braconnot et les étendait. Il constatait ainsi que toute cellulose plongée dans l'acide azotique, puis lavée et séchée, donne une substance très inflammable, utilisable en pyrotechnie.

Peu après, J.-B. Dumas nitrifiait le papier à son tour — c'est une cellulose — et proposait d'utiliser sa « nitramidine », comme il l'appelait, dans la confection des gargousses d'artillerie. Ceci se passait en 1845.

En 1846, un Suisse, Schoenbein, de Bâle, qui venait de découvrir l'ozone, perfectionnait la découverte française. En traitant la cellulose par un mélange d'acides nitrique et sulfurique et non par l'acide nitrique seul, il obtenait un corps plus actif. Aussitôt, il s'efforça de vendre son secret, reconnaissant l'importance du coton-poudre comme explosif. La chose était dans l'air, évidemment,

car d'autres obtenaient des résultats très similaires. Et comme cellulose, Schoenbein employait le coton, qui, depuis, reste la cellulose d'élection.

Schoenbein prit un brevet en Angleterre, mais, dit M. A. Marshall qui donne une relation historique fort intéressante, avant un an une explosion désastreuse arrêtait la fabrication. D'autres, à Vincennes et au Bouchet, refroidirent encore le zèle, de sorte que le *Deutscher Bund* à qui Schoenbein avait offert de vendre son procédé préféra s'abstenir. Le représentant de l'Autriche, von Lenk, insista toutefois, et l'Autriche l'acheta. Von Lenk introduisit quelques perfectionnements et employa le coton-poudre dans les gargousses. Le résultat fut déplorable. Le coton-poudre mettait les canons hors d'usage. On l'avait introduit dans les projectiles aussi : ils éclatèrent dans le canon même. Le dépôt de coton-poudre fit explosion par surcroît, et après toutes ces aventures l'Autriche renonça à l'emploi d'une substance aussi dangereuse, et von Lenk essaya d'en vendre le secret aux voisins : en France et en Angleterre notamment. Celles-ci, avisées, se retinrent, mais les chimistes allemands cherchaient. Ils voyaient bien l'intérêt du coton-poudre. Ce fut Abel, le chimiste de la Guerre, en Angleterre, qui arriva le premier à fabriquer, à Waltham Abbey, un coton-poudre de sûreté, par la réduction de celui-ci en pulpe qu'il lavait et comprimait ensuite. Ce coton-poudre était sûr, mais variable aussi. Il ne valait pas grand'chose pour l'artillerie : on le réserva pour les explosions industrielles, les mines, les carrières. Mais E.-A. Brown, l'assistant d'Abel, trouva deux faits importants : l'action du fulminate sur le coton comprimé sec, et le fait qu'un peu de coton sec fait exploser le coton mouillé. On peut

donc emmagasiner et conserver le coton à l'état humide où il est beaucoup moins sensible, et c'est ce coton humide qu'on emploie dans les torpilles. Sans doute, on obtint, en Allemagne et en Angleterre, d'assez bonnes poudres apparentées au coton-poudre : les poudres Schultze d'abord, dues à un artilleur prussien, mais elles ne convenaient qu'à la chasse. En outre c'étaient des variantes, faites de bois et de salpêtre, puis nitrifiées. Le coton-poudre n'est devenu explosif de guerre qu'après avoir été parachevé par Louis Ménard et Florès Domonte, et par M. Vieille. En 1846, dans une note à l'Académie des Sciences, Ménard et Domonte montraient que le coton-poudre est soluble dans un mélange d'alcool et d'éther; ainsi dissous, c'est le collodion bien connu, utilisé en chirurgie et en photographie. Ainsi était découverte la gélatinisation du coton-poudre d'où est sortie la poudre sans fumée, car l'œuvre de M. Vieille a consisté à trouver un procédé pratique de gélatinisation du coton-poudre, et la forme à donner à celui-ci. Ce coton, résultant du mélange de cotons-poudres définis et différents, gélatinisé, c'est-à-dire malaxé et mis en pâte, puis laminé et séché, se présente en lames, ou cubes, ou filaments, homogènes, stables, et d'une régularité parfaite.

Il faut s'arrêter un moment sur ce point.

Nous avons parlé du mode de propagation de la combustion appelé déflagration. Il existe pour les explosifs solides tout comme pour les gazeux : c'est le mode caractérisant la poudre noire. Or, il comporte un gros inconvénient.

Que se passait-il en effet dans le canon ou le fusil avec les poudres noires classiques? La combustion était très rapide : à tel point qu'elle était achevée

avant que le projectile se fût déplacé appréciablement. Donc, pression initiale très élevée, puis diminuant rapidement à mesure que se sauvait le projectile et que les gaz brûlés se détendaient et refroidissaient. Sans doute, on pouvait augmenter la portée en augmentant la charge, c'est-à-dire la pression initiale, mais celle-ci risquait de devenir trop forte pour la résistance de l'arme, qui aurait éclaté. M. Vieille chercha donc un autre moyen de domestiquer la poudre ; il tenta d'en rendre la combustion progressive. Il est évident que, si l'on peut ralentir cette combustion de telle sorte qu'elle dure plus longtemps et ne s'achève qu'au moment où le projectile est dehors, de sorte que celui-ci a subi son effet durant tout son parcours, l'utilisation de l'énergie de l'explosif est beaucoup plus complète en même temps que rationnelle et économique. La force vive communiquée à la balle ou à l'obus est en effet doublée.

Mais comment ralentir la combustion ? Les moyens ne manquaient pas. On pouvait — il s'agissait de la poudre noire — on pouvait comprimer celle-ci, augmenter la grosseur des grains, diminuer le soufre, substituer des charbons roux, moins combustibles, au noir. On pouvait tout cela. Mais pas de façon régulière, constante. Et du moment où la qualité de la poudre n'était pas invariable, le réglage du tir était impossible. On gagnait en portée, mais on perdait en précision : profit nul, ou à peu près.

Ayant longuement expérimenté, M. Vieille constatait que la vitesse de déflagration de la poudre noire, qu'il s'agissait d'atténuer, de diminuer pour rendre celle-ci plus progressive et moins brisante, dépend essentiellement de deux facteurs : de l'état

de division de la substance explosive et de la pression des gaz. Ainsi, de la poudre noire comprimée sous une pression de 1.000 kilos par centimètre carré en une masse compacte brûle à raison de 13 millimètres par seconde. La même poudre, étalée sur le sol, brûle à raison de plusieurs mètres dans le même temps. En vase clos, il en allait de même : le temps variait de 1 à 100 selon que la poudre était en poussière ou comprimée. D'autre part la pression agit très nettement : la vitesse de combustion croît proportionnellement à la pression actuelle des produits de l'explosion.

Tenant compte de ces deux faits, M. Vieille avait donc appliqué les connaissances nouvelles à la poudre noire. Seulement, comme nous venons de le dire, la fabrication d'une poudre noire de qualité constante se montra impossible.

Dans ces conditions il laissa là les poudres noires, désespérant d'en rien tirer de bon, et il s'adressa à la nitrocellulose gélatinée, c'est-à-dire dissoute (comme le collodion et le celluloïd, qui sont des nitrocelluloses dissoutes dans l'alcool et l'éther, avec camphre en plus pour obtenir le celluloïd). La raison était que cette nitrocellulose peut facilement être taillée en lames, ou baguettes de formes rigoureusement identiques, et, partant, fournir des charges qui, elles aussi, sont rigoureusement identiques. D'un côté, par sa lenteur relative de combustion, la nitrocellulose assure l'action progressive sur le projectile ; de l'autre, elle permet, par la constance absolue des éléments explosifs, l'obtention de charges identiques. La grande portée est acquise, et la précision du tir subsiste. Double profit. Un troisième s'y est joint : l'absence de fumée. Le fulmicoton brûle intégralement sans fumée, et

ces trois caractères de la poudre sans fumée dont M. Vieille est le glorieux inventeur ont radicalement transformé l'artillerie, et la guerre en général, aussi.

On s'étonnera peut-être que la forme et les dimensions de la nitrocellulose puissent jouer un rôle aussi important. Mais on comprendra qu'il en soit ainsi à l'énoncé suivant, de l'éminent ingénieur, qui est capital : « Lorsque la combustion s'opère par couches parallèles, les durées de combustion en vase clos, sous une même densité de chargement, de grains de même matière, géométriquement semblables, sont dans le rapport de similitude. » La découverte de ce fait d'observation est la chose capitale : il en résulte que des caractéristiques extérieures que l'on donne à la nitrocellulose (qui peut recevoir toutes les formes et présenter toutes les dimensions) dépendent les propriétés de celle-ci : on obtient des durées de combustion variables à volonté selon les dimensions et les formes données.

Dès lors le coton-poudre est chose nouvelle.

Ce n'est plus l'explosif brisant et dangereux du début, c'est une poudre progressive « rationalisée », le prototype des poudres similaires : de la Cordite anglaise, de la poudre Nobel ou Balistite, et de vingt autres poudres sans fumée. Le rôle qu'a joué la science française dans cette découverte est, on le voit, capital. N'oublions pas que, si l'on peut utiliser d'autres celluloses, aucune ne vaut le coton. Le coton est essentiel à l'artillerie. La poudre sans fumée sert à chasser obus et balles, à charger fusils, canons, obusiers. C'est là sa principale mission, et on sait si elle s'en acquitte bien. Elle sert aussi, parfois, à charger les projectiles.

Le coton est-il indispensable ? Non assurément. Toute cellulose peut être nitrée aussi bien que le coton, et les celluloses sont innombrables : le bois, les fibres végétales, le coton, le kapok, la ramie, la paille, le son, la fibre de coco, tout cela peut donner de la nitrocellulose. La poudre prussienne Schultze qui a servi de poudre de chasse est une nitrocellulose à base de bois réduit en farine.

Les nitrocelluloses sont diversement nitrées : affaire de procédés de fabrication, mais elles sont d'inégale valeur aussi.

La poudre sans fumée est du fulmicoton (obtenu en traitant du coton par un mélange d'acides sulfurique et nitrique) qu'on a gélatinisé en le dissolvant dans un mélange d'alcool et d'éther. Par ce traitement le coton devient une sorte de pâte qu'on passe au laminoir d'où elle sort en feuilles que l'on découpe en cubes, filaments, etc., selon le but, puisque la forme a une telle importance.

L'excellence de la poudre sans fumée ne se discute pas.

Pourtant de mauvais bruits ont couru au sujet de sa stabilité. Elle fut adoptée en 1886, à la veille de l'incident Schnæbelé. En 1907, l'*Iéna* saute à Toulon; en 1911, la *Liberté* fait de même, et on attribue ces désastres à la poudre B. Dès 1896, on avait des inquiétudes. La poudre B est un corps colloïdal, partant instable et en évolution. Et rien n'est plus en état d'équilibre instable qu'un explosif : il est l'instabilité même, par définition. On s'aperçut de taches de mauvais augure, sur les approvisionnements, de vapeurs nitreuses, rouges, suffocantes. Les taches verdâtres et huileuses peuvent même aboutir à la combustion spontanée, mais non à l'explosion, jusqu'ici du moins. Cela

pouvait et devait tenir à de l'humidité : il en reste toujours un peu comme résidu de fabrication, et il y en a dans l'air ; à de la chaleur aussi : les expériences de Versailles le firent voir. Les accidents, il faut l'observer, ne se sont produits que sur des navires, et là, chaleur et humidité sont réunies. On chercha alors des stabilisants, c'est-à-dire des corps qui, ajoutés au dissolvant (alcool-éther), retardent les oxydations, altérations et autres troubles qui s'opposent à une longue conservation des poudres nitrées, et le capitaine Lepidi, du Bouchet, trouva la diphénylamine qui multiplie par 5 la durée de la vie de la poudre sans fumée. En même temps on a cherché des épreuves de stabilité. « L'idée directrice de toutes les épreuves de stabilité est la même, a dit M. Daniel Berthelot dans un mémoire des plus intéressants (*La Poudre B et les poudres balistiques modernes sans fumée* [*Mémoires de la Société des Ingénieurs civils,* sept. 1912]), c'est d'accélérer la dégradation spontanée des poudres de manière à produire en quelques mois, quelques jours ou quelques heures, des réactions qui, livrées à elles-mêmes, auraient duré des années. » On soumet donc la poudre à des épreuves de chaleur et de lumière. Le résultat général des recherches du très distingué chimiste est que les accidents, à supposer qu'ils soient réellement imputables aux poudres, ce qui n'est pas prouvé, peuvent être évités en donnant plus de soin au choix des matières premières (rappelons-nous l'affaire Cadiou et exigeons qu'on nous fasse connaître toute la vérité...), trop souvent sophistiquées, truquées par des marchands bons à pendre, et en faisant usage de stabilisants, de substances susceptibles d'absorber les produits nitreux qui se dégagent : diphé-

nylamine, urée, aniline. Dans ces conditions, dit-il, on évitera les matières étrangères paraissant être le point de départ des altérations que favorisent et accélèrent la chaleur et l'humidité.

On aura fait tout ce qu'on devait. Mais cela suffira-t-il toujours ? On en peut douter. Évidemment il ne faut pas conserver trop longtemps la poudre nitrée : elle est par définition trop instable. Elle est trop sensible aussi. Et peut-être ne vivra-t-elle qu'un temps. « Le feu grégeois a duré dix siècles, la poudre noire cinq siècles. Combien dureront les poudres à nitrocellulose », demande Daniel Berthelot ?

Sa réponse est intéressante. En tâtant le pouls, pour ainsi dire, à divers corps organiques au moyen des rayons ultra-violets, D. Berthelot a reconnu parmi ceux-ci deux catégories de corps, ceux à structure linéaire, comme la cellulose, qui sont instables ; ceux à structure cyclique, qui sont stables. « Un jour viendra sans doute où on trouvera un corps nitré à chaîne fermée qui répondra aux conditions multiples qu'exige la pratique. Ce jour-là, on aura une poudre qui sera, à la fois, stable comme les anciennes poudres minérales et progressive comme les poudres organiques modernes. »

La poudre nitrée française, poudre B, poudre Vieille, etc., a des émules, naturellement.

Voici d'abord la Cordite anglaise (due à Abel), composée de fulmicoton (65) dissous dans la nitroglycérine (30), additionnée d'un peu de vaseline (5). Elle se fabrique en fils ; elle est bonne, mais, à séjourner longtemps dans les soutes, perd de sa vigueur. Puis c'est la Balistite italienne (nitroglycérine, 60, coton nitré, 40, diphénylamine, 1 ou 2) : elle se présente en lanières, losanges, petits cubes.

En Allemagne, on emploie la poudre type Vieille pour le fusil et l'artillerie de terre, la poudre type anglais pour l'artillerie de marine. Ces poudres à la nitroglycérine ont une température très élevée et fatiguent beaucoup les canons.

Il importe d'observer que, s'il y a plusieurs celluloses nitrées, trois seules sont intéressantes : la cellulose endécanitrique (fulmicoton, coton-poudre, coton nitré), utilisée à charger les torpilles et mines sous-marines ; et les cotons octo- et ennéanitriques, qui constituent la poudre sans fumée.

Les gaz produits par le coton de guerre sont l'oxyde de carbone, l'acide carbonique, l'hydrogène, l'azote, la vapeur d'eau. Chaque kilo donne en explosant 859 litres de gaz (température de détonation 2.500).

Le coton-poudre, très dangereux à manier quand il est sec, car il s'enflamme par le plus léger frottement, a des parents bien connus, et innocents : le collodion, qui est une cellulose nitrée dissoute dans un mélange d'alcool et d'éther, et qui aide à comprendre que du coton-poudre puisse devenir semblable à de la gélatine, liquide ou solide ; et le celluloïd, mélange de camphre et de cellulose nitrée dans l'alcool, qui brûle très facilement, et même détone : par exemple dans l'huile chaude (à 160° environ). Il y a encore la soie artificielle de M. de Chardonnet, qui est une nitrocellulose dissoute dans l'alcool et l'éther, filtrée, et forcée dans des orifices capillaires en fils fins qui, au contact de l'eau froide, se solidifient.

NITROGLYCÉRINE ET DYNAMITE

Le fulmicoton, tel que le constitua Schoenbein, en étendant l'œuvre de Braconnot, avait à peine fait son apparition en 1846 que, la même année, un nouvel astre se levait dans le monde des explosifs. Un chimiste italien, Ascanio Sobrero, qui travaillait chez Pelouze, comme Aimé Girard, Berthelot, Davanne, y trouva la nitroglycérine en même temps que s'y préparait la poudre sans fumée. La nitroglycérine s'obtient en traitant la glycérine par un mélange d'acides nitrique et sulfurique : c'est un liquide lourd, incolore, toxique, très explosif à la percussion, très sensible. On n'en put rien faire pratiquement, toutefois, avant le moment où le Suédois Nobel, en 1863, trouvait un moyen industriel simple de la fabriquer, et parvint à la faire détoner. Il l'utilisa dans les travaux de mine après l'avoir brevetée sous le nom d'huile explosive. Mais les usines de fabrication sautèrent les unes après les autres. Il ne réussit à sauver l'huile explosive qu'en la faisant absorber par des matières poreuses, brique pilée, terre à infusoires, etc. Ainsi naquit la dynamite, explosif puissant, maniable, et moins sensible que la nitroglycérine.

Un kilo de nitroglycérine développe 1.135 litres de gaz (acide carbonique, oxygène, azote), et une quantité de chaleur considérable qui porte presque au décuple le volume des gaz produits. Ainsi un volume de nitroglycérine donnerait 1.298 volumes de gaz portés à 10.384 volumes par la température accompagnant l'explosion. Entre deux corps durs qui se heurtent violemment, la nitroglycérine détone. Elle explose aussi à 152° C. Enflammée à la

température ordinaire, elle déflagre simplement en dégageant des gaz particulièrement nuisibles : d'où le danger des ratés de détonation dans les mines.

Il existe plusieurs procédés de préparation de la nitroglycérine. Celle-ci, toutefois, n'est jamais utilisée telle quelle : c'est toujours sous forme de dynamite, après addition d'un absorbant (dont il existe diverses sortes : terre siliceuse, tripoli, kaolin, craie, sciure de bois, charbon de bois ou de coke, etc.).

Mais les dynamites sont de deux catégories : dans une première, il y a les dynamites vraies formées de nitroglycérine et d'un absorbant inerte : un de ceux qui viennent d'être cités. Dans la seconde, l'absorbant est non plus inerte, mais actif : c'est un explosif, lui aussi, une nitrocellulose.

La dynamite à absorbant inerte est évidemment plus maniable que la nitroglycérine. Quand même elle n'échappe pas à la loi commune : elle s'altère vite et expose à tous les dangers. Au bout d'un an, elle est bonne à détruire : on ne doit plus la conserver. Elle brûle à l'air libre, lentement, et sous le choc elle explose. On la fait exploser au moyen de l'amorce fulminante. Mais il ne faut pas laisser de dynamite dans le voisinage immédiat : elle éclate, elle aussi, par sympathie, c'est-à-dire sous l'onde de choc.

On ne peut guère employer la dynamite en hiver : elle gèle à + 6° C (et dégèle à + 8° C). Elle sert principalement pour les travaux de destruction, pour briser les roches très dures, pour extraire les minerais, briser les glaces, etc. On fait des dynamites de puissances variées, tout simplement en variant la proportion de la nitroglycérine dans le mélange. La dynamite n° 1 renferme 75 %

de nitroglycérine ; la dynamite n° 2, 35 °/₀, et la dynamite n° 3, 25 °/₀ seulement. La Fulgurite est faite de nitroglycérine, farine de froment et carbonate de magnésium.

Les dynamites à absorbant actif sont diverses. Il y a les Carbonites allemandes, formées de nitroglycérine, salpêtre et farine de seigle. On peut mettre du charbon à la place du seigle. Mais les plus répandues sont les Dynamites-gommes, Gélatines explosives ou Gélignites, où l'absorbant est du coton-poudre, avec un peu de nitrates de potasse ou de soude, et de la farine de bois. Ce sont des matières gélatineuses, jaunâtres, résistant aux chocs usuels, mais non au choc de la balle. Un kilo de dynamite-gomme équivaut, comme puissance, à $1^{kg}500$ de dynamite ordinaire (n° 1). Par l'addition de camphre on a obtenu une « gélatine explosive de guerre » moins sensible au choc, mais exigeant un détonateur très puissant.

Les dynamites-gommes sont de l'invention de Nobel ; ce sont des explosifs dont on peut graduer la brisance : aussi ont-elles beaucoup d'emplois. La nitroglycérine entre dans la composition de diverses poudres sans fumée ; les dynamites et dynamites-gommes servent d'explosifs industriels dans les mines et carrières, et dans les mines du génie. Mais elles se décomposent vite : il est dangereux de les manipuler ou transporter. Cela est regrettable, les dynamites-gommes pouvant être, par des modifications, amenées à présenter les caractères les plus divers, les adaptant aussi bien à la propulsion qu'à l'explosion brisante.

Les dynamites sont employées dans beaucoup de grenades de fortune, jetées de tranchée à tranchée, faites avec des boîtes de conserves remplies de

cailloux, clous et balles entourant un pétard de dynamite et ficelées solidement, et aussi dans les « saucisses explosives » : on ne peut les utiliser à charger les projectiles creux, en raison de leur sensibilité au choc qui les ferait exploser dans le canon.

Le nombre des dynamites à base active est considérable. On peut les diviser en catégories :

Dynamites à base de *nitrates :* dynamite grise de Nobel (1867), mélange de nitroglycérine et de poudre de mine; dynamites Judson, mélange de nitroglycérine, nitrate de sodium, soufre, charbon; la Paléine, faite de nitroglycérine, paille nitratée, salpêtre, soufre, fécule; le Lithofracteur, dans le même genre; la dynamite à l'amidon faite de nitroglycérine et d'amidon; le Fulmison, où le son remplace l'amidon;

Dynamites à base de *chlorates :* mélanges de nitroglycérine et de chlorate et nitrate de potassium : produits dangereux par leur sensibilité (Nitrolkrut, Nisebastine, Gotham);

Dynamites à base de *pyroxyles :* ce sont les dynamites-gommes dont il a été parlé : mélange de nitroglycérine avec du fulmicoton, de la dinitrocellulose (gélatine explosive de Nobel, 1875); il y en a beaucoup : gélatines et dynamites à l'ammoniaque (nitrate d'ammonium, dinitrocellulose associés à la nitroglycérine); la Forcite, les Gélignites, faites de dinitrocellulose, nitroglycérine, nitrate de potassium et poudre de bois, etc., etc. Molina et Montpellier, dans *Les Explosifs et leur Fabrication,* donnent la composition de beaucoup de produits de ce genre (1);

(1) Pour détails, voir aussi les dictionnaires de Cundill et de Daniel, et l'ouvrage de P. Chalon.

Dynamites sans flamme, dites *grisoutites :* dynamites additionnées de carbonate ou sulfate de magnésium retenant de l'eau qui, en se libérant, absorbe une partie de la chaleur de l'explosion et diminue la température en supprimant la flamme.

PICRATES ET MÉLINITE, TRINITROTOLUOL

En 1871, H. Sprengel, membre de la Société Royale de Londres, avait vu que, à l'exemple de beaucoup d'autres corps, l'acide picrique détone sous le choc. Cet acide, découvert en 1788 par le chimiste allemand Haussmann, était utilisé comme matière tinctoriale; l'italien Borlinetto, pourtant, en 1867, avait proposé de l'utiliser comme explosif sous la formule : acide picrique, 10, nitrate de sodium, 10, et bichromate de potassium, 8,5. L'idée resta dans la tombe générale de l'oubli, et l'observation de Sprengel ne comporta aucune application pratique jusqu'au moment où, en 1885, Turpin déclara l'acide picrique excellent comme explosif d'obus. Seulement ce qu'il proposait était non l'acide du commerce en paillettes, très sensible au choc, mais l'acide picrique en bloc fondu, qui ne craint rien des coups et n'explose par le fulminate qu'à condition d'interposer entre le détonateur et lui de l'acide picrique pulvérulent.

L'acide picrique est très stable, loin des métaux. Mais au contact de ceux-ci, du plomb surtout, il forme des picrates détonant par la chaleur. Aussi revêt-on d'un enduit isolant les vases destinés à le recevoir. Et il faut n'employer que de l'acide bien

pur, sans trace de picrates. La formule de la décomposition explosive paraît être la suivante :

$$2\,[C^6\,H^2\,Az\,O^2]^3\,OH = 11\,CO + CO^2 + H^2O + 4\,H + 6\,Az$$

Les gaz sont principalement de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène (70 °/₀) avec de l'azote, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

A l'air libre, il brûle et ne détone que rarement au feu. Il est plus brisant que la dynamite, et est employé au chargement de nos obus où il pénètre quotidiennement sous le nom de mélinite. Toutefois, peu de personnes connaissent la composition exacte de celle-ci et ceux qui la savent ne la disent pas. Elle a varié... La Lyddite anglaise est une variété de mélinite. S'en rapprochent encore : la Pertite, la Shimosite japonaise, la Coronite, la Picrinite. Les picrates sont encore plus explosants que l'acide picrique. Mais ils sont beaucoup trop sensibles, presque autant que le fulminate ; il faut donc être prudent dans leur manipulation. On associe parfois 5 ou 10 de trinitrotoluol à l'acide picrique (95 ou 90) pour le rendre plus fusible et plus dense.

On prépare la mélinite en partant de l'acide phénique fourni par la distillation de la houille, que l'on traite par les acides sulfurique et nitrique. L'acide picrique obtenu est transformé en picrate alcalin, lavé, dissous, traité par l'acide sulfurique. Il reste de l'acide pur et du bisulfate alcalin. A défaut d'acide phénique de houille, on utilise le phénol de synthèse, obtenu à partir de la benzine.

Quelques picrates sont, ou ont été, plus ou moins utilisés : le picrate de plomb, comme succédané du fulminate de mercure, dans la fabrication

des amorces ; le picrate de potassium, qui, associé à du salpêtre et au charbon, constitue les poudres de Désignolle, de trois types : un pour charger les fusils, un pour charger les canons, un troisième pour les obus et torpilles. Ces poudres, toutefois, sont dangereuses : on les a abandonnées, ayant trouvé beaucoup mieux. Le picrate d'ammonium associé au nitrate de potassium constitue la poudre Brugère, pour obus ; la Maïzite italienne, la Crémonite, la Bronolite sont aussi à base de picrates, avec nitrates.

L'acide picrique est un trinitrophénol (Laurent, 1843) ; on peut placer à côté de lui la Crésylite qui est un trinitrocrésol. Cristallisant en aiguilles jaunes, il est employé à l'état fondu, comme l'acide picrique pour charger les obus. Mais l'acide picrique (mélinite) est plus puissant. Produits de décomposition : azote, acide carbonique, vapeur d'eau. Le trinitrocrésol forme quelques sels employés avec le nitrate d'ammonium ou le chlorate de potassium. L'Écrasite autrichienne est du trinitrocrésylate d'ammonium, auquel on a renoncé, à cause de ses dangers.

Un autre corps voisin, le trinitrotoluène, ou trinitrotoluol, sert comme les précédents au chargement des projectiles creux. Il porte des noms variés : tritol, trilite, tolite, tritolo, trotyl ; les Anglais le désignent par l'abréviation T. N. T. Ces derniers l'utilisent depuis longtemps aux usages miniers. Les Allemands l'emploient dans leurs bombes d'aéroplane, et dans leurs obus, comme nous. Ce corps dérive du toluène, homologue supérieur de la benzine, qu'on extrait du goudron de houille ou encore des pétroles de Bornéo : c'est un dérivé trinitré fortement explosif. Il ne fait pas avec

les métaux des composés dangereux, comme l'acide picrique. Mowbray, un Américain, paraît avoir été le premier à en voir la valeur; il a breveté la formule : nitroglycérine 70, nitrotoluol 30. Les gaz de l'explosion sont de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, de l'azote, de l'acide carbonique. La Macarite belge est un mélange de trinitrotoluol et de nitrate de plomb. La Lyddite a une vitesse de détonation supérieure (7.745 mètres au lieu de 7.140 à la seconde); elle écrase davantage, et pourtant la faveur du trinitrotoluol est grande : il est préféré à la Mélinite (ou Lyddite) en Russie, en Italie, en Allemagne. Cela tient à ce qu'il est moins sensible au choc, moins toxique comme vapeurs et fumée, moins disposé à se combiner. Pourtant, le trinitrotoluol a déjà un rival dangereux dans le tetryl, ou tetranitraniline.

Mélinite, trinitrotoluol sont de grands explosifs brisants quotidiennement employés dans les projectiles creux. Ils donnent de la fumée, la quantité d'oxygène ne suffisant pas à brûler tout le carbone. De là les noms de *Coal Box,* de *Black Maria,* donnés par les Anglais aux obus du 210 allemand, en particulier du « Petit Bourdon ». On pourrait d'ailleurs empêcher la fumée en ajoutant un corps riche en oxygène.

Il y a beaucoup d'autres explosifs, on les compte par milliers. Toutes les substances organiques facilement nitrifiables, tous les dérivés de la distillation du goudron de gaz, peuvent en fournir. Les énumérer serait fastidieux : il suffit d'avoir parlé de celles qui sont actuellement préférées et utilisées. Notons d'ailleurs que chacune de celles-ci n'est, pour ainsi dire, qu'un membre d'une série étendue, d'une famille considérable. Mélinite, dynamite,

poudre sans fumée, ont des centaines de sœurs ou d'homologues.

Il reste toutefois une famille d'explosifs à citer, découverte par notre compatriote le commandant Arthur Favier, officier du génie, et qui se rattachent à l'idée des explosifs Sprengel. En 1871, Herman Sprengel proposait un type d'explosifs composés d'acide nitrique et d'hydrocarbures, nitrés ou non : le mélange se faisant au moment de l'utiliser. Exemples :

1 équivalent	mononitrobenzine	et	5 acide nitrique (Hellhoffite).
5 équivalents	acide picrique	et	13 acide nitrique (Oxonite).
87 —	nitronaphtaline	et	413 acide nitrique.

Les explosifs du type Sprengel sont des explosifs parfaits en ce qu'ils utilisent tout : il ne reste ni résidu ni gaz inutilisé (comme en laissent la nitroglycérine et le coton-poudre par exemple). Ainsi considérons la première formule, et prenons le nombre d'équivalents indiqué. Nous avons [1] :

Nitrobenzine = $C^6H^5(AzO^2)$ = 28,08
Acide nitrique = $5(HAzO^5)$ = 71,92

Composition avant explosion	Composition des gaz après explosion
—	—
C = 16,44	CO^2 = 60,27
H = 2,28	HO^2 = 22,55
Az = 19,18	Az = 19,18
O = 62,10	

Dans ces mélanges il y a un combustible, la

(1) D'après P. Chalon, *Les Explosifs modernes*, p. 38 (Ch. Béranger, 1911).

nitrobenzine ou quelque autre hydrocarbure, nitré ou non, et un comburant, peroxyde d'azote ou acide nitrique. Le résidu est réduit au minimum. Comme on peut, en variant les proportions de l'hydrocarbure, obtenir ou bien plus de gaz et moins de chaleur, ou moins de gaz et plus de chaleur, on peut graduer l'explosif selon le but à atteindre. Comme exemple d'explosifs Sprengel on connaît divers mélanges où, à l'acide nitrique, comburant, sont associés, comme combustibles, la nitroglycérine ou l'acide picrique, la dinitrobenzine, la nitronaphtaline, en proportions indiquées par leur composition chimique. Ainsi l'Oxonite est faite d'acides nitrique et picrique, séparés. Quand on veut faire jouer la mine on brise le tube contenant l'acide nitrique, et celui-ci baigne l'acide picrique : on fait détoner l'amorce à ce même moment.

A la même idée se rattache la Fulgurite de Raoul Pictet, composée de protoxyde d'azote et d'alcool ou d'éther : on fait exploser électriquement. Ce serait un explosif très puissant, donnant trois fois plus de gaz que les dynamites.

Les explosifs Favier sont de la même famille. A l'origine (1885), ils étaient composés de nitrate d'ammonium (91,5) et de mononitronaphtaline (8,5). Maintenant ils sont de types divers : au nitrate d'ammonium on ajoute diverses naphtalines, de la nitroglycérine, du fulmicoton. L'Ammonite, utilisée en Angleterre, comprend 89 de nitrate et 11 de dinitronaphtaline. L'Ammonal, très employé pour charger les obus autrichiens, est de plusieurs types ; y entrent : nitrates d'ammonium et de potassium, charbon, huile, aluminium en poudre, nitrate de baryum. La Densité comprend : nitrates d'ammonium et de strontium, et trinitrotoluol ; la Robu-

rite: nitrate, dinitrobenzine, sulfate d'ammonium, permanganate de potassium.

L'introduction de l'aluminium dans l'Ammonal peut étonner, car rien dans le monde des métaux ne paraît aussi insignifiant que ce corps léger, d'apparence si neutre. Cela prouve qu'on juge sur les apparences. La vérité est qu'une énergie prodigieuse sommeille dans l'aluminium métallique. Et s'il reste si innocent, si inoffensif, cela tient à ce qu'à l'air il se recouvre d'une pellicule d'oxyde très mince, transparente, invisible, mais très résistante, qui se reforme aussitôt que détruite par un choc ou grattage, et qui s'oppose au contact avec l'air ou l'eau, et met un obstacle à toutes les velléités d'activité que pourrait avoir ce métal. Cette pellicule le rend passif. Mais détruisez-la au moyen d'une solution de chlorure mercurique, et aussitôt l'aluminium de faire des siennes et de se montrer très actif, décomposant l'eau avec tumulte et grand dégagement de chaleur, prenant feu aussi à l'air humide, spontanément. C'est donc un combustible exceptionnel.

Ajouté, en poudre fine, au nitrate d'ammonium, il forme un explosif très brisant, et contribue à donner à l'Ammonal les propriétés que l'on sait.

C'est encore parce que l'aluminium est un excellent combustible que nous le trouvons dans les bombes incendiaires allemandes. Ces bombes, coniques, en forme de cloche, ayant 25 centimètres de diamètre environ, à leur base, sont cordées sur tout leur pourtour ; le sommet est pourvu d'une poignée. La base est en forme de soucoupe portant au centre un cône à parois perforées çà et là, en métal ; le cône est rempli d'un mélange d'aluminium et d'oxyde de fer ou de calcium qui a reçu

le nom de Thermite. Cette Thermite prend feu au moment où la bombe est libérée. Autour du cône est une masse de matière résineuse qui est retenue en place par la corde formant la paroi extérieure de l'engin. Cette corde, très inflammable, est allumée au départ : elle sert à mettre le feu à la résine qui est placée là pour donner de la fumée et mettre le feu. Il y a généralement un peu de phosphore blanc, de celluloïd et de pétrole ajouté au tout. Quand la bombe tombe à terre le choc tend à éparpiller la Thermite enflammée et qui dégage une chaleur pouvant atteindre 5.000°. Le tout est incendiaire et asphyxiant, incendiaire par la résine, la Thermite, le celluloïd et le pétrole, asphyxiant par le phosphore. Très recommandé pour incendier des demeures renfermant des femmes, enfants, blessés et non-combattants en général.

Se rattache encore aux explosifs Favier la Schneiderite. C'était un explosif de mine qu'on préférait à la dynamite parce que moins dangereux dans les mines grisouteuses à cause de sa température de combustion moins élevée. Il fit ses premières armes dans l'artillerie lors de la guerre des Balkans. C'est un mélange de binitronaphtaline (12,6 °/₀) et de nitrate d'ammoniaque. La naphtaline est fournie par les usines à gaz, naturellement, le nitrate d'ammoniaque par la double décomposition du sulfate d'ammoniaque et du sulfate de chaux. Les deux substances, mélangées, sont broyées en une galette, qui, séchée, est concassée en poudre ou en grains. La Schneiderite, seule, ou accompagnée d'autre chose, de Tolite en particulier, sert à remplir nos obus. Elle ne coûte pas cher, et c'est là chose à considérer.

La Panclastite de Turpin est aussi un mélange

de comburant et de combustible. En 1881, Turpin a proposé de mélanger, au moment de l'emploi, le peroxyde d'azote liquide, comburant, avec un combustible quelconque : pétrole, nitrotoluène, sulfure de carbone, nitrobenzine. Ainsi on peut mélanger 1,0 sulfure de carbone avec 1,8 peroxyde d'azote. La formule de réaction est

$$CS^2 + 3\,Az\,O^2 = CO^2 + 2\,SO^2 + 3\,Az$$

les gaz dégagés étant l'acide carbonique, l'acide sulfureux et l'azote. La nitrobenzine donnerait une explosion bien plus violente. Le mélange a été essayé en Allemagne, pour charger les obus. En France aussi, sans doute... Mais la manipulation du peroxyde est délicate : la Panclastite semble peu pratique.

EXPLOSIFS A OXYGÈNE LIQUIDE

On a parlé, parfois, dans la presse, de l'air liquide, employé comme explosif. Il est certain que l'oxygène liquide, mêlé à des substances très combustibles, à du charbon très divisé, à du noir de fumée, à de l'aluminium peut-être, doit donner des explosifs très puissants. Ce sont, peut-être, de tous les explosifs connus, dit M. Le Chatelier, ceux qui ont la plus haute température de combustion. Mais il est difficile de conserver l'oxygène liquide.

Avant la guerre, le ministère de la Guerre avait demandé à MM. d'Arsonval et Georges Claude si l'on pourrait, avec l'oxygène liquide, constituer des explosifs de mine ne produisant aucun gaz nocif. C'était beaucoup demander... surtout aux

explosifs à oxygène liquide déjà essayés : au Simplon on s'était plaint de la quantité d'oxyde de carbone qu'ils dégagent. Le mélange oxygène-aluminium a donné de bons résultats : le résidu est de l'alumine, qui n'a rien de toxique. Comme à la guerre on ne se préoccupe pas de savoir si les obus qu'on envoie dégagent ou non des gaz toxiques, on reprit à cette occasion les expériences sur le mélange charbon-oxygène liquide, et celui-ci se montra aussi puissant que la dynamite. Résultat des plus intéressants : charbon et oxygène liquide ne coûtent presque rien, grâce à la houille blanche. Ceci se passait avant la guerre. Depuis... depuis, on a travaillé, certainement. Mais il est superflu de dire à quoi on est arrivé, pour le présent.

L'EXPLOSIF IDÉAL

Quels seraient les caractères de l'explosif idéal ? Évidemment, celui-ci devrait avoir une très forte densité et comporter deux corps au moins, en proportions voulues, dans l'un desquels, le comburant, l'autre, le combustible, serait exactement brûlé. La grande densité importe, pour obtenir le maximum d'explosion par rapport au volume : l'état solide serait donc désirable. On a par exemple des explosifs qui, du volume 1 à l'état solide, passent au volume 400 par décomposition en gaz, ledit volume 400 passant à 1.200 par la dilatation due à la chaleur. On doit avoir mieux. En 1870, Turpin, comme nous l'avons déjà dit, avait proposé un explosif, la panclastite, formé de deux liquides, l'un comburant (peroxyde d'azote ou acide nitrique fumant), l'autre combustible (sulfure de carbone

ou pétrole). Bien entendu, le mélange ne devait se faire qu'au moment où l'explosion était désirable : là était la difficulté.

En Allemagne, une tentative similaire a été faite avec l'Hellofitte, déjà citée elle aussi, où l'acide nitrique fumant et la nitrobenzine font office de comburant et combustible. Il ne semble pas qu'on soit arrivé à grand'chose dans cet ordre d'idées, ni que les expériences aient été poursuivies.

Plus récemment, en 1897, on a proposé un mélange d'acétylène et de protoxyde d'azote, qui serait plus puissant que la nitroglycérine, mais pas à volume égal (et le volume a son importance : volume, c'est-à-dire densité). Théoriquement, l'explosif le plus puissant est le gaz détonant, mélange d'oxygène et d'hydrogène. Mais la densité est trop faible : les deux corps sont à l'état gazeux ; c'est pourquoi M. D. Dubois proposa la variante qui vient d'être indiquée. En Allemagne, un brevet a été pris en 1902 pour un explosif formé de cartouches divisées en deux compartiments, contenant l'un du carbure de calcium avec peroxyde de baryum, l'autre un acide dilué. Cet acide, rongeant le diaphragme séparant les compartiments, provoque un dégagement d'acétylène, d'hydrogène et d'oxygène, lesquels se combinent avec explosion. Le procédé est-il pratique ? Ceux qui savent ne disent rien, en tout cas. C'est plus tard seulement qu'on saura si la grande guerre a été l'occasion de la découverte d'explosifs nouveaux.

Nous avons cité le gaz détonant, mélange d'oxygène comburant et d'hydrogène combustible : bon explosif d'ailleurs, mais pas pratique ; il tient trop de place. L'explosif idéal a le maximum de densité : il est très lourd ; il a beaucoup de poids pour

son volume. Les gaz ont un minimum de poids et un maximum de volume au contraire. Il existe d'autres mélanges gazeux tonnants : éthylène 1 et oxygène 3 ; acétylène 1 et air 9 ; gaz d'éclairage 1 et air 5 ; formène ou méthane 1 et air 9,5 (c'est le grisou) ; protoxyde d'azote et hydrogène, etc. Certains de ces mélanges développent des pressions de 10,15 et près de 20 atmosphères (cyanogène et oxygène, 19,5 atmosphères d'après M. Vieille). Inutile d'insister sur ces explosifs : ce sont seulement des curiosités intéressantes, pour le moment ; on n'en peut rien faire dans la pratique.

Un mot en terminant cet historique. Par les noms qu'il a fallu citer au cours de celui-ci on a pu voir quelle place tient la France dans la science des explosifs. C'est un exemple entre bien d'autres. Les Allemands répètent volontiers que rien n'est au-dessus de la science allemande. La vérité est qu'on ne doit à celle-ci qu'un minimum d'initiatives et d'idées générales. Les Français en ont au contraire répandu à foison. Mais ils ne les suivent pas assez jusque dans leurs conséquences. Les Allemands au contraire sont bons pour prendre les idées des autres, les suivre, et les exploiter et utiliser. Ils font de bons ouvriers, des contremaîtres appliqués. Mais des chefs, au sens intellectuel du mot, combien rarement. Toute l'histoire générale de la science est là qui le proclame, et la « science des explosifs », comme toutes les autres sciences, le confirme amplement. Il serait injuste de méconnaître la très grande part de l'Angleterre, et n'oublions pas que la nitroglycérine est d'un Italien.

TABLE DES MATIÈRES

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — JUIN 1916

LA GUERRE AÉRIENNE

DU MÊME AUTEUR

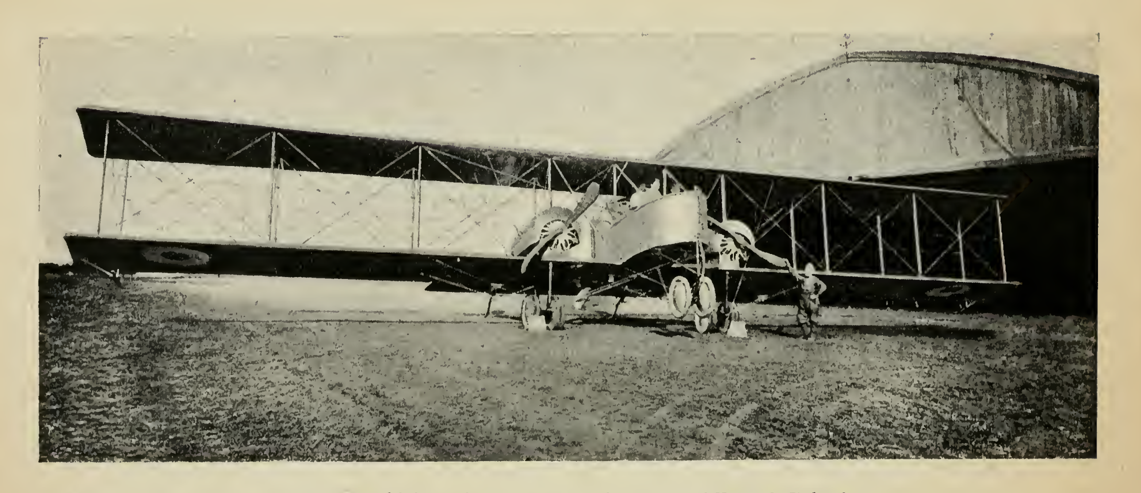
L'Aviation pendant la guerre. 6e édition, 1916. Un volume in-8, avec 93 photographies, schémas et silhouettes des avions et hydravions les plus récents des armées belligérantes. . . . . **3 fr. 50**

(Berger-Levrault, éditeurs.)



Biplan Caudron bi-moteur, en plein vol.

Ces appareils permettent à la fois les reconnaissances (vision totale), la chasse (vitesse : 135 kilomètres à l'heure) et le bombardement (charge utile : 500 kilos).



Le nouveau biplan tri-moteur (3oo HP) Caproni-Esnault-Pelterie.

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1916

11e Série d

G. CROUVEZIER

LA GUERRE AÉRIENNE

Le Rôle de la cinquième Arme

HISTORIQUE DE L'AVIATION
L'AVIATION DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES
ROLE DE L'AVION — CATÉGORIES D'AVIONS
EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES AVIONS
TIR CONTRE AVIONS
LES EXPLOITS DE NOS AVIATEURS ET DES AVIATEURS ALLIÉS
POUR LA SUPRÉMATIE AÉRIENNE

AVEC 24 ILLUSTRATIONS

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS — 5-7, RUE DES BEAUX-ARTS
NANCY — RUE DES GLACIS, 18

1916

LA

GUERRE AÉRIENNE

CHAPITRE I

HISTORIQUE DE L'AVIATION

Avant les expériences de Wilbur et Orville Wright, en 1908, l'aviation était presque inconnue en France. Qui eût dit que six ans après elle deviendrait une des armes importantes du combat dans la lutte gigantesque actuelle ! A part quelques essais, d'ailleurs sans grands résultats, dont le principal fut le vol de Santos-Dumont, à Bagatelle, en 1906 (220 mètres, à quelques mètres de hauteur), et qui ne peut guère être considéré que comme un bond, l'aéroplane [ou avion (1)] était encore, lors de l'arrivée des Wright en France, considéré comme une utopie. Cependant, bon nombre de chercheurs avaient la ferme conviction que le problème était soluble.

Les expériences des frères Wright au camp d'Auvours étaient à peine commencées que Blé-

(1) Le Français Ader, en 1893, avait construit et expérimenté un aéroplane, qu'il avait appelé *avion*. Ce terme est devenu courant au cours de ces dernières années.

riot, le 13 octobre 1908, puis Henri Farman, le 30 octobre 1908, effectuaient, chacun sur des appareils de leur invention et bien différents tous deux du système américain, les premiers vols de ville à ville. Ces deux exploits, bien qu'accomplis sur une distance moindre et d'une durée moins grande que ceux réalisés par les Wright à la même époque, n'en étaient pas moins un triomphe, car le départ et l'atterrissage s'étaient faits n'importe où, sur un terrain quelconque, tandis que Wilbur Wright avait besoin d'un système compliqué de rail et de pylône pour pouvoir prendre son essor. Cet inconvénient et d'autres encore (tels que celui de la commande de profondeur à l'avant, qui a été reconnue défectueuse et dangereuse) firent abandonner le système Wright, dit américain.

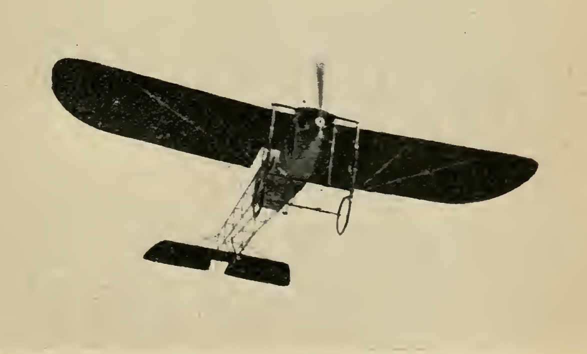
L'aviation, née en France, car tous ses précurseurs sont des Français (Wright lui-même a conçu son biplan d'après les formes préconisées par le Français Chanute), devait y prendre rapidement une grande extension. Notre pays est et a toujours été le berceau des inventions. Notre esprit ingénieux et fertile, entraîné par ces premières expériences, se donna libre cours, et une pléiade d'ingénieurs et de constructeurs s'adonna à la conquête de l'air.

Nous ne voulons pas énumérer (cet ouvrage n'y suffirait pas) les nombreux appareils expérimentés, ni citer leurs valeureux pilotes. Ils furent légion, et leurs exploits se succédèrent et progressèrent avec une rapidité extraordinaire (1). Ces expériences, exécutées au grand jour, eurent un

---

(1) De décembre 1909 à décembre 1912, soit en trois ans, le record d'altitude en aéroplane est passé de 453 mètres (Latham) à 5.610 mètres (Garros).

Premières expériences en planeur biplan.



Le monoplan Blériot XI bis qui traversa la Manche
le 25 juillet 1909.

immense retentissement chez nos voisins, et la traversée de la Manche, par Blériot, le 25 juillet 1909, en consacrant définitivement l'aéroplane, donnait au monde un engin nouveau, dont on songea naturellement à utiliser les remarquables qualités.

Les pays voisins s'émurent pour leur sécurité. Désormais, avoir assuré ses possessions sur terre par une armée, sur mer par une flotte, ne suffisait plus ; il fallait songer à faire respecter ses frontières aériennes : à l'aéroplane, il fallait opposer l'aéroplane, puisqu'il n'existait aucun autre engin capable de défendre la route de l'air. La flotte aérienne devint une réalité, et, de suite, toutes les grandes puissances furent hantées par le souci d'une armée d'aéroplanes, qui leur assurerait la suprématie de l'air.

La conquête de l'air est la dernière victoire de l'homme sur la nature : c'est une victoire chèrement payée.

. . . .

La route de l'éther de tombeaux se jalonne ;
Mais toujours on avance, et le progrès est sûr.
Plus dur fut le combat, plus belle est la couronne.
Encore quelque effort, et le triomphe est mûr.

. . . . (1).

La pesanteur a pris maintes fois sa revanche sur l'audacieux qui osait lutter contre elle, et les sacrifices furent particulièrement lourds pour la France.

Les nombreux concours et circuits internationaux provoquèrent une vive émulation parmi les constructeurs, qui améliorèrent sans cesse leurs appa-

(1) Olivier Bournac, *Vers les Astres.*

reils. A l'étranger aussi, on commençait à étudier sérieusement l'aéroplane. Après avoir acheté des appareils français, les Allemands, d'abord, puis les Anglais et les Russes, établirent des appareils suivant leurs propres conceptions.

Dans le chapitre suivant, nous indiquerons, avec leurs principales caractéristiques, les différents appareils des puissances belligérantes.

CHAPITRE II

L'AVIATION DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES

EN FRANCE

L'aéronautique française a été créée par le général Roque et organisée par le général Hirschauer, qui ont fait de notre aviation un modèle du genre, à la fois pour l'organisation et pour les services que nous rendent journellement nos aviateurs.

L'aéronautique comprend : 1° l'*aérostation* (ballons captifs, dirigeables, trains de cerfs-volants); 2° l'*aviation* (avions et hydravions).

Les centres d'aviation, créés aux endroits les plus propices et dont l'emplacement avait été étudié judicieusement avant la guerre, sont assez nombreux et pourvus de vastes hangars, d'ateliers, de magasins d'accessoires et pièces de rechange, d'un laboratoire de photographie, d'un poste de télégraphie sans fil et surtout d'un matériel roulant automobile fort bien compris, composé de camions-tracteurs, voitures-bâches, chariots, remorques et voitures automobiles rapides (torpedos) de liaison. Tout le matériel roulant constitue le *train de combat* et assure le déplacement rapide des appareils et du personnel et la transmission des ordres ou des

résultats des missions dans un laps de temps minimum. Les avions neufs sont fournis par la *réserve générale* où sont également exécutées les réparations importantes de moteurs ou de voilure.

Il existe, pour l'instruction et l'apprentissage des pilotes, trois écoles militaires : Saint-Cyr, Pau et le camp d'Avor.

En outre, de nombreuses escadrilles sont réparties dans les centres militaires de l'Est : Belfort, Le



Une escadrille complète et son matériel roulant.

Au premier plan, voitures du commandant et des pilotes ; derrière, camions-tracteurs remorquant les fourgons contenant les avions démontés.

Bourget, Dijon, Épinal, Nancy, Toul, Verdun et le camp retranché de Paris.

Les avions, répartis par escadrille (l'escadrille compte six appareils), sont vérifiés et entretenus par un personnel spécialisé (mécaniciens, menuisiers, ajusteurs, etc.). L'escadrille est formée d'appareils du même type et de même marque.

Les avions français portent tous les indications suivantes, qui sont peintes sur le gouvernail de direction : 1° une initiale, qui indique la marque

de fabrique; 2° l'indication en kilos de la charge maxima (poids total des pilote et passagers,



Monoplan de chasse Morane-Saulnier (vu d'arrière).

bombes, approvisionnements, essence et huile); 3° un numéro d'ordre.

Nous indiquons ci-après les lettres choisies pour désigner les principaux avions et hydravions français :

MARQUES	LETTRES	MARQUES	LETTRES
Blériot	BL	Farman Henri	HF
Borel.	Bo	Farman Maurice . . .	MF
Bréguet.	B	Morane-Saulnier . . .	MS
Bréguet-Michelin . .	BM	Nieuport	N
Caproni-Esnault-Pelterie	CEP	Ponnier.	P
Caudron	C	Voisin	V
Deperdussin.	D	Voisin de bombardement	VB
Dorand	DO		

Quant aux escadrilles, elles sont également numérotées. On dit, par exemple : Escadrille C 42.

Le corps des aviateurs est composé d'officiers, de sous-officiers et de soldats, appartenant à toutes armes, comprenant en outre tous les aviateurs civils du temps de paix. Chaque escadrille a six pilotes (dont un chef d'escadrille tenu de voler), six observateurs et douze mécaniciens.

Pendant les six premiers mois de guerre, l'ensemble des escadrilles anciennes et nouvelles a exécuté environ 10.000 reconnaissances, correspondant à plus de 18.000 heures de vol. Ces vols cumulés représentent une distance parcourue de plus de 1.800.000 kilomètres (quarante-cinq fois le tour de la terre). A titre de comparaison, nous indiquerons qu'en 1912, la totalisation des distances parcourues pendant l'année atteignait 507.900 kilomètres, soit, pour six mois, environ 250.000 kilomètres. Par ces seuls chiffres, on voit l'effort accompli par nos aviateurs depuis la déclaration de guerre.

Dans les tableaux résumés ci-après nous donnons les différents types d'avions et hydravions français. Les noms en caractères gras sont les appareils particulièrement utilisés.

CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DES PRINCIPAUX AVIONS ET HYDRAVIONS FRANÇAIS

I — AVIONS

MARQUE	TYPE	ENVERGURE	LONGUEUR	SURFACE portante	PUISSANCE du moteur	VITESSE à l'heure	CHARGE utile
		m	m	m²	HP	km	kg
Astra.	biplan	12,30	10,60	48 »	70	90	400
Blériot XI-2	mono	10,35	8,40	19 »	80	115	250
Bréguet.	biplan	15,40	8,60	40 »	120	110	450
Bréguet-Michelin .	biplan	—	—	—	200	120	800
Caproni - Esnault - Pelterie.	biplan	22,00	20,35	—	300	115	1.100
Caudron	biplan	11,48	7,42	28 »	80	100	275
Caudron bi-moteur	biplan	16,50	7,10	38 »	2 de 80	135	500
Clément-Bayard. .	mono	10,20	6,30	16 »	80	125	275
Deperdussin . . .	mono	8,70	6,00	13 »	50	128	250
Dorand.	biplan	16,00	10,50	50 »	87	105	400
Farman (Henri). .	biplan	13,60	8,06	42 »	80	105	275
Farman (Maurice) .	biplan	16,13	9,48	60 »	80	108	305
Goupy	biplan	7,00	7,00	27 »	50	95	250
Morane-Saulnier .	mono	9,20	6,35	14 »	50	130	250
Nieuport	mono	12,32	8,26	25 »	50	120	150
Nieuport	biplan	7,00	7,00	18 »	80	140	250
Paulhan	mono	8,60	8,60	12,50	50	130	200
Ponnier.	mono	10,75	7,10	18 »	50	115	180
Ponnier	biplan	8,00	6,00	20 »	50	110	160
R. E. P.	mono	10,25	6,74	20 »	60	105	200
Schmitt.	biplan	17,50	10,00	49 »	160	105	450
Voisin	biplan	15,00	8,00	50 »	130	110	450
Zodiac	biplan	15,00	11,75	32 »	50	95	50

II — HYDRAVIONS

MARQUE	TYP	ENVERGURE	LONGUEUR	SURFACE portante	PUISSANCE du moteur	VITESSE à l'heure	CHARGE utile
		m	m	m^2	HP	km	kg
Blériot	mono	11,05	9,00	24	80	110	250
Bréguet.	biplan	15,40	11,50	46	200	125	350
Caudron	biplan	12,76	8,10	32	80	90	275
Clément-Bayard.	biplan	17,00	10,20	50	115	85	400
Deperdussin . .	mono	8,70	6,00	13	50	128	250
Farman (Henri).	biplan	15,50	10,00	60	80	95	300
Farman (Maurice) .	biplan	19,00	12,00	70	100	100	400
Nieuport	mono	12,32	8,26	25	50	120	150
Voisin	biplan	15,00	8,00	50	140	110	450

EN ALLEMAGNE (1)

Durant ces dernières années, l'Allemagne a fait d'immenses efforts, consenti d'importants sacrifices financiers pour s'assurer la première place en aviation.

Puissamment aidée par le Gouvernement et aussi



Monoplan allemand Rumpler « taube », en plein vol.

par la souscription nationale (7.200.000 marks), l'aéronautique militaire allemande a pu mettre en ligne, à la déclaration de guerre, un nombre d'avions sensiblement égal, peut-être même un peu supérieur au nôtre. Les aéroplanes étaient fournis par les marques suivantes : *A. G. O.,*

(1) L'Allemagne et l'Autriche-Hongrie utilisent des appareils des mêmes marques, et leurs aviations respectives peuvent être, pour l'étude, réunies en une seule. L'Autriche ne possède d'ailleurs qu'une seule fabrique d'aéroplanes, celles des monos Etrich, employés par les deux pays.

Albatros, Aviatik, Etrich, D. W. F., Gotha, Halberstadt, L. V. G., Kondor, Otto, Pfeil et *Rumpler*. Presque tous sont munis du moteur fixe 100 HP Mercédès, à circulation d'eau, qui est un moteur lourd et encombrant, mais régulier. Quelques avions seulement sont munis de moteurs Daimler, Argus, N. A. G. et Hilz.

On a pu remarquer que les avions allemands étaient très rapides, grâce à leur puissant moteur et aussi à leur faible charge utile. A ce sujet, il faut remarquer que l'utilisation d'un moteur puissant peut avoir deux buts : ou bien on utilise l'excès de force du moteur pour enlever du poids (passagers et explosifs), ce qui s'obtient en augmentant l'incidence et la surface des plans, mais ce qui diminue la vitesse ou la maintient stationnaire, — ou bien l'excès de force du moteur sert à augmenter la vitesse sans permettre d'emporter une forte charge. Ce dernier système a été adopté par les Allemands ; le Gouvernement allemand, après sélection judicieuse, ne commande plus que trois sortes d'appareils, tous biplans : Albatros, Aviatik et L. V. G.

Tout récemment, on a vu réapparaître un monoplan *Fokker* dont on a considérablement exagéré les qualités, sur lesquelles d'ailleurs nous reviendrons plus loin.

Au point de vue matériel accessoire, l'Allemagne n'a pas craint de dépenser largement. Les hangars, stations et terrains d'atterrissage sont nombreux et bien agencés. Mais les pilotes aviateurs sont d'une valeur nettement inférieure aux nôtres et aux Anglais. Il faut, pour faire un bon pilote, un tempérament particulier et des qualités spéciales : sang-froid, prudence, courage, énergie et endurance.

La plupart des bons pilotes que l'Allemagne

possédait à la déclaration de guerre ont été tués ou faits prisonniers, parce que ce sont les seuls qui aient affronté les « risques du métier ».

CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX AVIONS ALLEMANDS

MARQUE	TYPE	SURFACE	ENVERGURE	LONGUEUR	FORCE	MARQUE du moteur	VITESSE	POIDS A VIDE
		m²	m	m	HP		km	kg
A. E. G.	biplan	50 »	16,60	10,70	120	Argus	100	600
A. G. O.	biplan	36 »	13,90	8,00	150	Mercédès	110	650
Albatros	mono	35 »	14,60	10,20	100	—	105	600
Albatros	biplan	36 »	12,80	8,00	100	—	115	580
Aviatik	biplan	45 »	14,00	8,00	100	—	100	670
D. W. F.	mono	35 »	16,00	9,00	100	—	115	550
D. W. F.	biplan	46 »	17,00	9,00	100	—	105	600
Etrich	mono	38 »	14,30	9,85	100	—	105	550
Fokker	mono	20 »	12,00	7,25	100 80	Mercédès Oberursel	125 115	300
Gotha	mono	28 »	14,00	8,50	100	Mercédès	120	600
Gotha	biplan	31 »	12,25	8,00	80	Gnome	110	—
Halberstadt	mono	31 »	14,45	9,00	100	Mercédès ou Argus	140	500
Kondor	mono	35 »	14,00	9,80	100	Mercédès	120	600
L. V. G.	biplan	44 »	14,50	9,50	100	—	105	760
Otto	biplan	45 »	14,90	10,80	100	—	110	580
Rumpler	mono	29 »	14,00	8,20	100	—	120	650
Rumpler	biplan	38 »	13,00	8,65	100	—	105	650
Union (flèche)	biplan	32 »	10,00	7,00	120	—	110	550



Monoplan Etrich, entièrement métallique, un des derniers modèles créés par les Allemands.

Ce taube, atteint par l'artillerie russe, est tombé dans les marais. Les passagers, qui n'étaient que blessés, ont été trouvés morts de froid.

EN ANGLETERRE

Avant la guerre, on croyait volontiers que l'aviation en Angleterre était moins développée qu'en France. C'était là une grosse erreur, et les hardis exploits des pilotes anglais ont montré à la fois la valeur de ceux-ci et la qualité de leurs appareils.

La *Royal Aircraft Factory* (le Châlais-Meudon anglais) a construit de nombreux appareils expérimentaux, qui ont permis de doter l'armée anglaise d'avions remarquablement étudiés, dont la fabrication et le rendement sont parfaits. Tout dans ces avions, jusqu'au profil des montants [1], a été étudié minutieusement pour permettre une très grande vitesse et un grand écart entre les vitesses maxima et minima. En particulier, dans les hydroaéroplanes anglais, la construction très robuste atteste une parfaite connaissance de la mer.

Le gauchissement est supprimé et remplacé par des ailerons, ce qui évite l'affaiblissement des ailes, qui sont ainsi fixes au lieu d'être souples.

Au point de vue valeur des appareils, nous devons reconnaître que les Anglais sont passés maîtres dans la construction des avions. Leurs pilotes, on l'a vu par les raids audacieux qu'ils ont effectués dans la mer du Nord (raid de Cuxhaven, en particulier) et sur les côtes de Belgique, sont habiles et endurants. Ce sont là deux qualités précieuses.

Les avions sont assez nombreux, presque tous biplans, sauf le monoplan *Blackburn,* et pourvus de moteurs puissants, la plupart rotatifs.

---

(1) D'après les expériences de M. Eiffel, suivant la section des montants, la résistance peut être abaissée de 19 °/₀ à 3,5 °/₀ de la résistance totale.

Mais c'est surtout l'aviation navale qui a été développée en Angleterre. Les nombreuses incursions de zeppelins ont été la principale cause de ce développement. Lord Winston Churchill, dans un de ses discours à la Chambre des Communes, en mars 1914, disait : « Bien que l'hydroaéroplane ne soit pas encore sorti de la phase expérimentale, un grand avenir s'ouvre devant lui, et l'on ne peut douter qu'il ne soit déjà en état de remplir un rôle très important dans les opérations de guerre : c'est ce dont nous avons pu nous convaincre dans les dernières manœuvres navales où les trois avions embarqués sur l'*Hermès,* tout comme ceux de l'*Hibernia,* ont rendu aux escadres de si grands services pour les reconnaissances (1). »

Il existe de nombreuses stations côtières : Calshot, île de Grain, Harwick, Yarmouth, Cromarty, Cleethorpen (près Grimsby), Kirkealdy, Filey. Toutes ces stations ont de vastes hangars, un outillage, des canons de défense verticaux Wickers ou Armstrong. Chaque station comprend 11 « seaplanes », des types légers et types lourds, munis de postes de télégraphie sans fil, permettant la réception des radiotélégrammes en plein vol.

(1) Les pilotes de la marine anglaise ont couvert, en 1913, plus de 200.000 kilomètres, avec un seul accident mortel.

CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DES PRINCIPAUX AVIONS ANGLAIS

MARQUE	ENVERGURE	VITESSES maxima	VITESSES minima	POIDS A VIDE	FORCE	MOTEUR
	m	km	km	kg	HP	
Avro. . Hydravion biplan	10,80	130	50	430	80	Rotatif
Avro. . Biplan de combat	13,20	105	55	460	80	—
Avro. . Biplan scout.	7,80	160	50	310	80	—
Blackburn, monoplan	11,40	110	65	400	80	—
Bristol . Biplan de combat	11,25	100	55	450	80	—
Bristol . Biplan scout	6,60	150	75	280	80	—
Curtiss, hydravion biplan	11,27	110	60	460	100	Curtiss fixe
F. B. A., hydravion biplan	12,10	100	55	500	100	Rotatif
Grahame-White, biplan de combat .	11,10	130	5	460	100	—
Hamble River Luke and C°, hydravion biplan	18,00	105	55	600	150	N. A. G. fixe
Samuel White, hydravion biplan . .	18,90	115	55	1.200	200	Salmson, fixe
Sopwith, hydravion biplan	16,20	115	65	1.000	200	—
Vickers. Biplan de combat	11,40	115	65	385	100	Rotatif
Vickers. Biplan scout.	7,50	160	70	275	100	—

EN RUSSIE

La Russie, quoique venue très tard à l'aviation, n'en possède pas moins une flottille importante, composée pour la plus grande partie d'avions français biplans et monoplans, mais fabriqués en Russie aux usines Russo-Baltique, Dux et autres, et de vastes biplans dus à l'ingénieur russe Sikorsky.

L'*Ilia-Mourametz,* c'est ainsi que l'inventeur a baptisé son appareil, est un biplan de 37 mètres d'envergure, 25 mètres de longueur et 182 mètres carrés de surface portante ; il est actionné par quatre moteurs : 2 de 160 HP et 2 de 200 HP, commandant chacun une hélice, soit 720 HP. Même si un moteur s'arrête, la marche de l'avion ne subit aucune perturbation. Cet appareil peut s'élever sans roues, sur patins, par temps de neige, et c'est là un grand avantage en Russie. La charge utile est de 1.500 kilos, ce qui représente un poids considérable d'explosifs. Le fuselage, constitué par une cabine fermée et vitrée, peut contenir jusqu'à dix-huit personnes, et les pilotes peuvent se relayer. Le seul inconvénient de cet appareil est d'être relativement lent (90 km à l'heure).

Au moment de la déclaration de guerre, la Russie pouvait posséder au moins 600 avions de modèles français et une quinzaine d'Ilia-Mourametz.

Les Allemands auraient, paraît-il, construit aussi un biplan Aviatik *kolossal,* muni de quatre moteurs Maybach de 225 HP chacun, et un appareil de ce genre aurait tenté de survoler Londres le 24 décembre dernier. Ce biplan géant pourrait emporter quatre passagers, du combustible (essence et huile) pour dix heures de marche, et 1.000 kilos d'explosifs.

EN ITALIE

L'Italie est le premier pays ayant déjà utilisé pour la guerre les aéroplanes (en Tripolitaine). Etant donné le peu d'appareils dont disposait l'armée italienne au cours de la campagne italo-turque, les expériences tentées ne furent pas assez suivies pour permettre d'en tirer un enseignement précieux. Cependant, de nombreuses reconnaissances furent réalisées, quelquefois avec lancement de bombes.

Le Gouvernement italien possédait alors des appareils de marques françaises, anglaises et allemandes. Depuis, quelques constructeurs italiens ont mis au point des monoplans et des biplans de leur invention.

Actuellement, voici les principales marques utilisées : *Asteria, Blériot, Bréguet, Bristol, Caproni, Etrich, H.* et *M. Farman, Nieuport* et *Savary.*

L'Italie, tout comme l'Angleterre, par sa situation géographique, a compris que l'aviation maritime (hydroaéroplanes) devait être particulièrement développée.

Dans une étude très intéressante sur l'aviation navale, le lieutenant de vaisseau italien Calderara disait, en parlant de l'hydravion : « Sa vitesse, qui est déjà très supérieure à celle des navires les plus rapides, ne connaîtra sur mer aucun de ces obstacles qui, sur terre, peuvent éventuellement l'empêcher de se développer entièrement. Si donc tout l'avenir de l'aviation n'est pas sur mer, une bonne partie de cet avenir est sur les flots. »

Les avions sont, en Italie, répartis par escadres. Chaque escadre, qui compte, suivant son usage, un nombre différent d'avions, est composée le plus souvent d'appareils du même type.

Chaque corps d'armée possède une escadre de



Aviateurs italiens, armés d'une carabine à répétition, avant leur envol, sur monoplans français Nieuport.

douze appareils. D'autres escadres, dites légères, comprenant six avions, sont réparties à la frontière. Ce sont des escadres de couverture. Enfin, il existe encore des escadres (4 à 6 appareils chacune) affectées au service de la cavalerie et de l'artillerie.

Au point de vue organisation des services, il y a une grande analogie entre l'aéronautique française et l'aéronautique italienne.

Les aviateurs peuvent être civils ou militaires. Après avoir reçu une instruction théorique, ces derniers passent successivement les épreuves du brevet de l'Aéro-Club italien, puis celles du brevet militaire (vol de 150 kilomètres à une altitude

moyenne de 1.000 mètres). Les observateurs sont pris, de préférence, parmi les officiers d'état-major.

Les multiples expériences effectuées pendant ces dernières années sur les terrains d'aviation d'Aviano et de Turin, en particulier, et les raids audacieux sur mer accomplis par les officiers de marine et les aviateurs italiens, ont montré combien l'Italie attachait de prix au développement de la cinquième arme, tant sur terre que sur mer.

CHAPITRE III

ROLE DES AVIONS — CATÉGORIES D'AVIONS

Suivant leur rôle, les avions sont classés en trois catégories :

1° *Les avions de bombardement,* pour l'attaque ;
2° *Les avions de chasse,* pour la défense ;
3° *Les avions dits « de corps d'armée »*, pour les repérages de tir.

Avions de bombardement.

Ces avions sont constitués en groupes; un groupe de bombardement comprend plusieurs escadrilles, composées d'appareils de même type (Voisin, Bréguet ou Caproni-Esnault-Pelterie).

Ils ont pour mission de détruire les voies ferrées, dépôts de munitions, et, en général, effectuent tous bombardements à grande distance et nécessitant une attaque en masse. Ils sont subordonnés au grand quartier général, qui leur indique les objectifs à atteindre.

Ces avions peuvent cependant opérer séparément. Voici d'ailleurs le fac-similé d'un compte rendu de

vol, tel que nos aviateurs sont tenus d'en dresser un à leur retour :

1er groupe
de bombardement.

—

Escadrille V. B...

—

COMPTE RENDU

DE { BOMBARDEMENT
{ ....

—

Nom du pilote : Capt de M...
Nom du passager : Sergt S...
Heures { de départ : 6h 50.
{ de retour : 10h 30.
Altitude : 2.550 mètres.
Itinéraire : Dieulouard, Nomeny, Remilly, Saint-Avold, Saarbrück, Bensdorf, Dieuze, Lunéville.
Points bombardés : Usine au S. de Dieuze, points d'éclatement constatés.
Nombre et nature des projectiles : { 1 projectile de 155.
{ 1 — de 90.
Incidents : Moteur ayant des faiblesses régulières et menaçant de ne pas reprendre, d'où danger de descente sur le point. Vu 2 aviatiks vers Saar-Union. — Aperçu une fumée noire épaisse au-dessus des nuages S.-O. de Saarbrück.

A , le septembre 1915.

(Signature) R. J. de M...

Il arrive assez souvent qu'un groupe de bombardement est attaqué par des avions ennemis. Le commandant de groupe indique alors, à l'aide de fusées lâchées de l'avion où il se trouve, la tactique et la formation à adopter par les autres avions français.

Il s'agit d'encercler, grâce au nombre d'avions français, les avions ennemis, puis de les mitrailler, tous les avions de bombardement possédant une mitrailleuse.

Biplan Voisin de bombardement, au départ.



Le même, en plein vol.

D'autre part, les Allemands effectuent fréquemment des feux de barrage avec leurs canons verticaux. Le commandant d'escadrille indique également, suivant la position de la ligne d'éclatements, la formation à adopter.

En outre, les groupes de bombardement sont fréquemment accompagnés d'avions de chasse.

Avions de chasse.

Ces avions ont non seulement pour mission d'attaquer les appareils ennemis, mais aussi de les empêcher de survoler nos lignes. Tandis que l'avion de bombardement peut être relativement lent, utilisant sa puissance au transport de la charge d'explosifs, l'avion de chasse, au contraire, doit être très rapide et « grimper » vite. Ce n'est que dans ces conditions qu'un avion de chasse peut livrer combat avec avantage. Nous possédons, en France, des appareils susceptibles de faire 150 kilomètres à l'heure. Leur tactique est de se placer sous l'appareil ennemi, puis de le mitrailler.

Avions de reconnaissance.

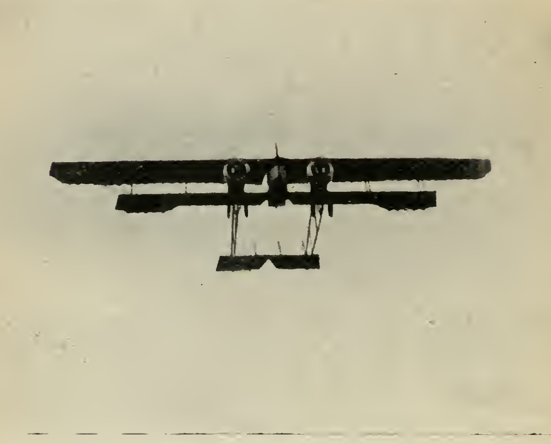
Enfin le troisième rôle de l'avion, rôle qui à lui seul suffirait pour en faire une arme redoutable, c'est le *repérage de tir* par l'*avion de reconnaissance.*

Des escadrilles dites de corps d'armée, constituées par des appareils biplans demi-rapides, ont pour mission de repérer, suivant les instructions du commandant de l'armée à laquelle elles appartiennent, l'emplacement des batteries ennemies, les mouvements de troupes, et aussi d'indiquer à nos batteries les rectifications de tir nécessaires. Le tout se



Biplan Nieuport de chasse, avec mitrailleuse sur le plan supérieur.

fait soit par un code de fusées lancées de l'avion, soit par un poste de T. S. F. avec antenne pendante, à contrepoids permettant à l'observateur



Biplan de reconnaissance Caudron bi-moteur avec mitrailleuse à l'avant.

de communiquer avec les batteries. C'est là non seulement une mission importante, mais c'est aussi la plus difficile et la plus dangereuse, car les pièces ennemies ne se laissent pas repérer aisément, masquées qu'elles sont par des branchages; souvent même de faux canons sont placés pour tromper les aviateurs, qui, eux, sont exposés au feu continu des batteries spéciales cherchant à abattre cet observateur indiscret.

Rôle de l'hydravion.

La question de l'utilisation pratique de l'avion dans la marine est assez complexe. Il est évident,



Monoplan Morane-Saulnier à mitrailleuse, piloté par Gilbert.

Notre héros national est actuellement prisonnier en Suisse, où il a dû atterrir à la suite d'une panne, au retour d'une reconnaissance.

nous en dirons d'ailleurs plus loin les raisons, que l'avion, opérant en liaison avec les bâtiments de guerre, leur sera d'une grande utilité. Les constructeurs d'aéroplanes ont donc étudié un appareil,



L'hydravion reposant sur ses flotteurs.

appelé hydravion, susceptible de prendre son vol en mer et de revenir à flot. Deux systèmes se sont présentés : le premier, très simple, le remplacement des roues par des flotteurs ; le second, l'établissement, sur un canot, d'un véritable aéroplane, mais avec passagers, moteur et combustible dans le canot.

Les deux systèmes ont leurs avantages et leurs inconvénients, et, actuellement encore, il existe

dans les différentes organisations aéronautiques navales des hydravions des deux types.

Au point de vue offensif, l'hydravion peut aller



En plein vol (3 passagers à bord).

avant le combat reconnaître les forces de l'ennemi, découvrir des sous-marins, la visibilité au-dessus de la mer en profondeur étant, on le sait, très grande. L'hydravion peut bombarder des sous-marins avec succès ; je n'irai pas jusqu'à dire qu'il

peut attaquer les gros navires, quoique la chose ne soit pas impossible. Ceux-ci ont en effet une ceinture de protection qu'une bombe d'avion ne saurait détériorer, mais par contre il existe sur le pont d'un navire de nombreux orifices, qui, s'ils ne peuvent être atteints par le feu latéral de l'artillerie adverse, peuvent l'être au contraire par le tir aérien.

Si l'hydravion est muni d'un poste de T. S. F. ou, plus simplement, si le pilote se sert de fusées pour tracer dans l'air des signes conventionnels, la présence et la direction des forces ennemies seront rapidement indiquées, ainsi que les sous-marins et les mines sous-marines. Que faut-il demander de plus à l'hydravion? Il peut encore effectuer, — les raids d'aviateurs anglais à Cuxhaven l'ont prouvé, — des bombardements de stations côtières en liaison avec les navires dont il est l' « œil ». De plus, au point de vue défensif, l'hydravion peut éloigner les appareils aériens ennemis et les empêcher de repérer les forces dont il dépend ; il peut aussi rectifier le tir, le rendre précis.

Au point de vue visibilité en hydravion, il nous suffira de dire, pour faire apprécier la valeur de cet « œil » du navire, que, si sur le pont d'un croiseur on peut voir par beau temps la fumée d'un vaisseau ennemi à 25 kilomètres, un hydravion à 200 mètres de hauteur permettra de voir à 50 kilomètres, et, à 1.000 mètres de hauteur, à 150 kilomètres environ.

Particulièrement en cas d'attaque des côtes par tir indirect, l'hydravion est indispensable pour régler le tir. C'est ce qu'ont fait les cuirassés français et anglais lorsqu'ils ont bombardé, du golfe de Saros, la côte européenne des Dardanelles par-dessus la presqu'île de Gallipoli.



Hydravion biplan Sopwith (en plein vol).

CHAPITRE IV

EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES AVIONS

Pour le combat offensif ou défensif, les avions utilisent différents engins dont nous allons résumer les caractéristiques.

1° Bombes et fléchettes.

Les aviateurs utilisent des bombes et torpilles aériennes de différents modèles, causant, bien entendu, des dégâts d'autant plus grands que l'engin est plus puissant. Elles peuvent être à shrapnells ou incendiaires. Étant donné leur poids, les avions ne peuvent en emporter que quelques-unes à chaque vol, aussi les aviateurs doivent-ils user de ces engins avec parcimonie; l'adresse est donc l'élément principal. Disons, en passant, qu'une bombe jetée d'un aéroplane ne tombe pas verticalement et par suite n'éclate pas exactement au-dessous du point de lancement. La bombe conserve, pendant quelques instants, la vitesse acquise par l'avion, suivant un principe bien connu, et ne tombe verticalement que lorsque cette attraction devient nulle et est remplacée par celle de la pesanteur.

La destruction des voies ferrées, des ponts, des bâtiments militaires, des gares, constitue pour les aviateurs une tâche importante et dangereuse, mais dont la réussite peut avoir d'heureuses conséquences. D'autre part, lorsqu'un avion est signalé, l'ennemi cherche à cacher tout ce qu'on pourrait distinguer. Il se livre au « maquillage », place ses troupes contre la lisière des bois, fait modifier la direction des convois ; l'artillerie cesse le feu et se masque. L'aviateur n'en a que plus de difficultés pour distinguer le réel du « truqué ».

En ce qui concerne les bombes utilisées, voici quelques indications sur les modèles les plus courants. Les Allemands se servent surtout de bombes au picrate, en forme de poire, et dont les parois contiennent les shrapnells. Leur bombe incendiaire n'est souvent qu'une simple masse explosive au choc, surmontée d'un bidon de pétrole. Quelquefois, comme c'est le cas pour les bombes de zeppelins, l'engin est entouré d'une corde résineuse qui s'allume et se déroule au moment de l'explosion.

La bombe anglaise Marten-Hale, du poids de 10 kilos, utilisée par nos alliés, donne plus de 200 éclats. Elle est aussi au picrate.

En France, on utilise trois sortes de bombes, ayant toutes trois une forme spéciale qui leur a fait donner le nom de torpille.

Le vent et les remous influent en effet considérablement sur la ligne de chute de ces projectiles, et, dans le but de leur assurer une bonne stabilité latérale, on leur a donné une forme allongée et pourvu l'extrémité d'ailettes. Notre obus de 90^{mm} pèse 14 kilos dont 8 de mélinite ; celui de 155^{mm}, 43 kilos, et celui de 220^{mm}, 130 kilos. Tous trois sont à la mélinite.

La charge d'obus est limitée par un poids mort

assez considérable représenté par le pilote et l'observateur, la mitrailleuse et ses accessoires se trouvant sur tous les avions de bombardement, et surtout le combustible du moteur, huile et essence. Les moteurs, en particulier les rotatifs, sont de gros consommateurs. A titre d'indication, disons qu'un moteur de 80 HP consomme 30 litres d'essence à l'heure, un moteur de 100 HP consomme 42 litres, un de 200 HP 75 litres à l'heure. Et les aviateurs emportent toujours largement l'essence nécessaire, car un vent debout ou de travers peut les obliger à voler, sur un grand trajet, souvent une heure de plus que le temps prévu.

D'autre part, depuis le début de la guerre, nos aviateurs utilisent des fléchettes ; ce sont des baguettes d'acier de 12 centimètres de longueur, de 8 millimètres de diamètre et pesant 20 grammes, dont la tête est pointue et prolongée par une partie cylindrique, puis cruciale, jusqu'à l'autre extrémité. Ces fléchettes, jetées par cinquante, la pointe en haut, se renversent pendant leur chute, en se heurtant, ce qui les écarte les unes des autres. Elles arrivent, la pointe en bas, sur le sol, à une vitesse d'au moins 100 mètres à la seconde, ce qui représente une force de pénétration de 200 kilos environ. Les blessures occasionnées par ces fléchettes sont généralement mortelles. Elles percent facilement les casques d'acier ou de cuir bouilli, et un général allemand a eu le crâne traversé par un de ces engins ; la fléchette s'est arrêtée dans la gorge.

Fléchette (grandeur naturelle).

Cinq mille fléchettes pèsent 100 kilos. Un de nos aviateurs, le lieutenant Mezergues, a jeté jusqu'à 5.500 fléchettes et 18 bombes dans la même journée.

Les Allemands, selon leur habitude, ont recueilli de ces fléchettes et en ont fait fabriquer. Leurs avions en jettent, maintenant, qui portent cette inscription grossière, résumant à elle seule la « Kultur » teutonne : INV. FR. FAB. ALL. (Invention française, fabrication allemande).

2° Canons et mitrailleuses sur avions.

Presque tous nos avions sont munis, à l'heure actuelle, d'une mitrailleuse, dont le poids avec munitions est de 25 à 30 kilos. La mitrailleuse est en effet l'arme de protection indispensable à nos avions de reconnaissance et de bombardement. Elle est aussi l'instrument de combat de nos avions de chasse. La disposition d'une mitrailleuse sur les monoplans est particulièrement difficile, car le tir est impossible en avant de l'appareil en raison de l'hélice, qui se brise comme du verre au moindre choc. On a remédié par deux moyens à cet inconvénient : en surélevant la mitrailleuse pour permettre de tirer au-dessus du champ de rotation de l'hélice ; ou encore, en revêtant la partie centrale de l'hélice d'une plaque de blindage qui permet aux balles de glisser sans détériorer l'hélice. Mais ces deux procédés sont loin d'être idéaux. Le premier oblige le tireur à être surélevé et par suite exposé au feu de l'aviateur ennemi ; le second système dérive les balles. C'est une des raisons pour lesquelles on a abandonné le monoplan. Sur un biplan l'installation d'une mitrailleuse est plus facile.

D'autre part, un certain nombre d'avions de bombardement sont munis d'un canon de 37^{mm}, analogue au « pom-pom » anglais, et qui pèse avec ses munitions 150 kilos environ. Nos aviateurs, avec ce canon, effectuent des tirs efficaces, non seulement contre avions ou dirigeables ennemis, mais surtout contre des trains, dépôts de munitions, rassemblements de troupe. C'est un des plus



Biplan Caudron à mitrailleuse placée sur la partie supérieure avant.

récents perfectionnements apportés au combat aérien.

Un récent communiqué russe nous a appris le bombardement efficace des voies ferrées utilisées par les Allemands, ce qui montre que nos alliés ne sont pas en retard sous le rapport des avions armés. D'autre part, le communiqué français du 6 février 1915 indiquait : « Un de nos avions-canons a attaqué, au sud de Péronne, un drachen [1] ennemi, qui est tombé en flammes. » Voilà une des précieuses et multiples utilisations de cette nouvelle arme.

(1) Drachen, abréviation du mot allemand *Drachen-Ballon*, en français ballon-cerf-volant.

Appareils de visée.

Il existe à bord d'un certain nombre d'avions des appareils de visée, destinés à prévoir la trajectoire du projectile lâché par l'observateur.

Les projectiles d'avions ne sont pas, on le sait, lancés par un appareil propulseur, mais simplement lâchés au moment propice. Plusieurs forces, dont il est utile de connaître la valeur, agissent sur la chute du projectile. Tout d'abord le sens de la marche de l'avion et sa vitesse de déplacement par rapport au sol, ensuite l'altitude de l'avion au-dessus de l'objectif à atteindre. Voilà deux éléments très faciles à connaître. Mais un troisième facteur entre en cause, et c'est sur le procédé de détermination de ce dernier que varient les différents dispositifs de visée existant actuellement : il faut calculer le sens et la force de déplacement de l'air ambiant par rapport à l'appareil aérien. L'air peut, en effet, être troublé par le vent ou des remous, forces agissant sur la chute de l'obus. Voilà donc trois forces à connaître, dont la résultante est le problème de visée.

Nous n'avons pas l'intention de décrire les différents appareils de visée actuellement en usage. Il nous suffira de dire qu'ils reposent soit sur le principe de la chambre noire, avec objectif donnant réflexion sur une glace mobile dans son plan suivant l'évaluation de la vitesse de l'air ambiant et de la vitesse par rapport au sol, soit encore sur un jeu de miroirs combinés avec un anémomètre [1]. De nombreux viseurs ingénieux ont été établis : les

(1) Hélice actionnant une aiguille sur cadran gradué et permettant de connaître la vitesse du vent.

uns donnent des résultats approchés seulement; d'autres sont trop fragiles et déréglables. Il convient cependant de citer le viseur Tailleferre, appliqué sur bon nombre d'avions anglais et italiens et qui vient d'être adopté en France, ainsi que le viseur monté sur les avions français de bombardement Bréguet-Michelin, dont la précision est, paraît-il, vraiment remarquable.

CHAPITRE V

TIR CONTRE AVIONS

Le tir contre avions est pour ainsi dire le problème du jour. Avec les instruments de tir : fusil, mitrailleuse, canon, dont on dispose, il est en effet, quel que soit le procédé choisi, très difficile d'atteindre un avion. Il y a à cela plusieurs raisons qu'il serait fort intéressant de développer, mais que nous ne pouvons que résumer pour ne pas sortir du cadre de cet ouvrage.

Le fusil a été établi pour le tir de niveau exclusivement, et non pour le tir oblique. Voilà, résumée, la principale cause de l'inefficacité de ce mode de tir. La hausse est en effet réglée pour modifier la visée suivant la distance, en tenant compte de la trajectoire, fonction de la vitesse initiale de la balle et de la pesanteur. Dans le tir oblique, l'influence de la pesanteur est modifiée et la vitesse de la balle l'est également ; chacun sait en effet qu'une balle porte beaucoup moins loin en hauteur qu'en tir horizontal. Dans le cas d'un tir contre avion se trouvant au-dessus du tireur, il n'y a pas, on le comprend, à tenir compte de la hauteur de l'objectif pour régler la hausse. La

hausse doit être nulle. Premier point sur lequel bon nombre de nos territoriaux, dans leur pétarade contre les taubes, ont pu faire erreur.

Enfin et surtout, point principal, le temps qui s'écoule entre le départ de la balle et son arrivée sur l'objectif est très appréciable, et comme cet objectif se déplace, plus il est haut, plus il parcourt de chemin pendant le trajet de la balle. En fait, voici ce qui se produit : on tire sur un objectif, et, quand la balle arrive pour l'atteindre, il a parcouru une certaine distance, dans le sens de sa marche. Cette distance peut-elle être calculée ? Certainement, en établissant un calcul très simple. Supposons que l'avion ennemi, volant à 1.800 mètres de haut, fasse 125 kilomètres à l'heure, et que l'on tire sur lui avec un projectile ayant une vitesse moyenne (sur 2.000 mètres) de 300 mètres à la seconde. La balle mettra donc 1.800 : 300 = 6 secondes pour atteindre l'objectif ; mais celui-ci se sera, pendant ces 6 secondes, déplacé de :

$$\frac{6 \text{ sec.} \times 120 \text{ km.}}{1 \text{ heure}}$$

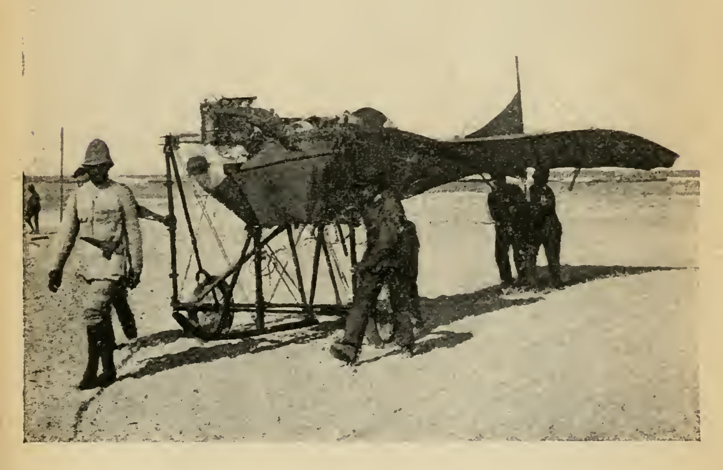
ou

$$\frac{6 \times 120.000}{3.600} = 200 \text{ mètres.}$$

Le tireur aura donc visé 200 mètres en arrière.

Mais, connaissant ce qui précède, il devient aisé de préciser le tir et d'augmenter sérieusement les chances d'atteindre le but, surtout si l'on se sert d'une mitrailleuse. Les avions allemands ont des dimensions connues, en général 10 mètres environ d'envergure pour les monoplans, 14 mètres environ d'envergure pour les biplans. Donc, pour un biplan volant dans les conditions précédentes, il faudra

tirer à une distance de $\frac{200}{14} = 14$ fois l'envergure de l'appareil en avant du sens de la marche. Ces calculs ne sont bien entendu qu'approximatifs. Si la distance de l'avion à atteindre peut être appréciée



Avion allemand abattu aux Dardanelles.

au télémètre, les autres données ne sont qu'approchées; mais il n'en reste pas moins certain que les chances d'atteindre l'objectif augmenteront si on tient compte des considérations qui précèdent.

Il existe des canons spéciaux, dits verticaux, pour le tir aérien. Beaucoup sont montés sur automobiles, permettant ainsi le déplacement rapide et la concentration du tir. Les Allemands utilisent

des canons Krupp de 65 et de 75^{mm}. En France, on dispose de canons verticaux de 100^{mm}, et un grand nombre de 75 ont été établis sur plate-forme, avec rotation de la pièce sur un cône. Le procédé est assez pratique et permet ainsi d'utiliser sans transformation notre admirable canon, dont les obus à shrapnells encadrent et très souvent atteignent les avions ennemis.

CHAPITRE VI

LES EXPLOITS DE NOS AVIATEURS ET DES AVIATEURS ALLIÉS

Les aviateurs français et anglais ont été les premiers à exécuter de longs raids en Allemagne et en Belgique, pour y effectuer des bombardements importants.

Ludwigshafen, Trèves, Cuxhaven, Stuttgart, Carlsruhe, furent autant de succès pour nos aviateurs, qui détruisirent dans ces villes des objectifs militaires, voies ferrées, gares, casernes.

Nous avons rassemblé quelques récits concernant ces exploits, tout à la gloire de notre cinquième arme, dont les Allemands peuvent journellement apprécier la vitalité.

Bataille aéro-navale de Cuxhaven.

Londres, 26 décembre. — Un communiqué de l'Amirauté dit que sept hydravions, escortés d'une escadrille de croiseurs légers et de destroyers, ont bombardé les navires allemands ancrés dans la passe de Schilling, près de Cuxhaven.

Deux zeppelins et plusieurs taubes et sous-ma-

rins ont attaqué vainement l'escadrille anglaise, qui n'a subi aucun dommage, et a attendu le retour des hydravions en vue de la côte allemande, pendant trois heures.

Elle a pu réembarquer trois hydravions.

Quatre autres aviateurs ont été recueillis en mer. Nous avons coulé ensuite leurs appareils.

L'étendue des dégâts causés par les hydravions est inconnue, mais tous les projectiles ont été lancés sur des points qui présentent une importance militaire.

Les journaux reproduisent un télégramme de Berlin, mentionnant le bombardement des navires allemands et de l'usine à gaz de Cuxhaven.

Les hydros anglais, poursuivis par les zeppelins et les taubes, seraient repartis dans la direction de l'ouest.

Le *Times* publia les détails suivants :

Lors de l'attaque de Cuxhaven, les hydravions anglais, descendant aussi bas que leur sécurité le leur permettait, jetèrent des bombes.

Malgré les démentis allemands, il existe d'excellentes raisons de croire que ces bombes causèrent des dégâts considérables; qu'un hangar et un dirigeable furent détruits et un certain nombre de zeppelins et de hangars fortement endommagés.

Cependant, les Allemands avaient découvert l'escadre britannique qui escortait les hydravions.

Ils envoyèrent deux zeppelins et plusieurs hydravions, ainsi que des sous-marins.

Les zeppelins lancèrent, les premiers, un nombre considérable de bombes sur les navires anglais, mais aucune n'atteignit son but.

Le feu des croiseurs anglais les obligea à fuir et atteignit sérieusement un zeppelin.



Les raids des aviateurs français et alliés en Allemagne.

Les sous-marins allemands attaquèrent ensuite, mais ils furent tenus en respect par une habile manœuvre des navires anglais.

Nos aviateurs, en regagnant leurs navires, furent alors attaqués par les forces aériennes ennemies. Sur sept, six rentrèrent indemnes.

Malgré les allégations allemandes, tous les navires britanniques regagnèrent leur base navale, sans perte d'hommes ni de matériel.

Raid aérien sur Ludwigshafen.

27 mai. — Une de nos escadrilles, composée de dix-huit avions, portant chacun 50 kilos de projectiles, a bombardé ce matin, à Ludwigshafen, l'usine de produits chimiques Badische Anilin, l'une des plus importantes fabriques d'explosifs de toute l'Allemagne.

Les résultats constatés ont prouvé l'efficacité du bombardement. Plusieurs bâtiments ont été atteints. De nombreux incendies ont été allumés.

Les aviateurs sont restés près de six heures en l'air et ont parcouru plus de 400 kilomètres.

Cette expédition contre un important établissement militaire a servi de riposte aux tentatives des avions allemands sur Paris.

Les dix-huit appareils qui ont bombardé les usines d'explosifs de Ludwigshafen sont rentrés tous, sauf un, qui a été obligé d'atterrir près de Ludwigshafen [1], probablement par suite du feu de l'ennemi, et que son équipage a brûlé.

Cette expédition montre à quel degré d'habileté

---

(1) Ludwigshafen est situé en Bavière, sur la rive gauche du Rhin, en face de Mannheim.

et de courage sont parvenus nos pilotes. Cela constitue le plus beau fait d'armes aérien encore accompli.

Les usines de la Badische Anilin und Soda-Fabrik, les plus considérables fabriques d'explosifs de l'Allemagne, occupent tout un quartier de Ludwigshafen, près de Mannheim, et une importante annexe a été récemment installée à Oppau, à 3 kilomètres de Ludwigshafen.

Les avions ont lancé 47 obus de 90 et 2 obus de 155 sur le premier objectif, et 36 obus de 90 sur l'usine d'Oppau. Tous les obus ont atteint le but.

Dès 6^h 15, trois foyers d'énormes fumées jaunes se voyaient à Ludwigshafen et, à 6^h50, les avions ont constaté de grandes masses de fumée qui recouvraient Ludwigshafen et Oppau.

Cinq Boches pour un pied.

Nous empruntons au *Petit Journal* le récit d'une « tragédie dans les airs ». Comment ne pas pleurer d'admiration à la lecture de l'exploit surhumain du pilote de M... ! Il était allé, en compagnie d'un sergent, bombarder une position allemande sur la côte belge, et tous deux revenaient, la mission remplie.

Tout à coup, un obus allemand sectionne l'essieu des roues de devant du train d'atterrissage, pénètre par le « regard » de celluloïd de la nacelle, coupe net le pied gauche de M... et sort par le côté de la « carlina » — la nacelle — en faisant un énorme trou.

Le pilote blessé aussi grièvement, l'appareil « soufflé » par le vent du projectile, c'est la fin, la chute irrémédiable ! Déjà les Boches, en bas, triomphent. Ils viennent de recevoir sur la tête la boussole arrachée de l'avion.

On assiste alors à cette chose terrifiante : le biplan plonge, plonge... Mais de M..., malgré son horrible blessure, se redresse, et le voilà qui, au milieu des obus, reprend sa marche vers nos lignes.

De sa cheville coupée, le sang coule à flots. Il rougit le plancher de la nacelle, dégouline par les interstices jusque sur les roues arrière, va balayer la figure du passager, qui lui-même a reçu un shrapnell dans la tête. C'est une pluie rouge... Le sergent se rend compte qu'ils sont perdus.

De son bras gauche il soutient de M... ; de sa main droite il écrit avec un sang-froid superbe, au crayon, sur un papier fixé à une planchette...

« Je termine ma lettre, ma chère maman. Si nous devons tomber, à la garde de Dieu ! mais que nos chefs sachent que notre mission a été remplie, et que notre bombe a été jetée où il fallait ! »

De M..., avec son moignon, va-t-il pouvoir tenir ? Il a encore 27 kilomètres à faire.

Le sergent lui crie tout à coup :

— Veux-tu que je prenne le « manche à balai » — le gouvernail ?

De M..., furieux, se retourne à demi et hurle dans le vent :

— Non ! non ! F...-moi la paix. Aie confiance en moi, nous rentrerons en France !

Le sergent a fini sa lettre. Il reprend de M... sous les aisselles.

Le pilote plonge soudain dans le capot. Il saisit de la main gauche son pied sanglant dans la chaussure. Celui-ci « coinçait » son gouvernail de direction.

Il passe la pauvre loque rouge au sergent, derrière :

— Tiens ! prends ça, je n'en ai plus besoin !

Et sa « commande » dégagée, s'appuyant sur son

moignon, il va, il va, les yeux brouillés, raidi, tout son être bandé dans un ressaut d'énergie surhumaine...

Nous voyons soudain pointer vers notre champ un biplan qui flotte un peu.

Il descend cependant correctement, sur les roues de derrière. Et voilà les deux hommes qui touchent le sol au milieu de nous. Ce sont deux héros. Le sergent nous crie :

— Blessé ! Il est blessé !

Le fuselage est rouge de sang, des gouttes vermeilles tachent l'herbe. On apporte un brancard. De M..., par le trou de l'obus, passe son pied déchiqueté hors du capot et descend lui-même de son appareil.

— Non, mais crois-tu qu'ils m'ont arrangé ! Ça ne fait rien, ils ne m'auront pas !

On ramasse le pied au fond de la nacelle et on place le blessé dans une voiture d'ambulance.

Il ne blague plus. D'un verbe exalté, il récite maintenant les beaux vers de « L'Aile », de Rostand. Il a la fièvre. Il veut bien enfin s'évanouir à son arrivée à l'hôpital de Zuydschoote.

On l'a amputé hier matin. J'ai pu parvenir jusqu'à lui hier au soir.

— Tu sais, lui ai-je dit, que tu es proposé pour la croix et le sergent pour la médaille militaire.

— Tant mieux ! me répond-il avec un sourire qui illumine son visage décoloré, tant il a perdu de sang. Je suis content !...

Il ajoute :

— Et puis, tu sais, mon vieux, quand je serai guéri, avec une machine articulée, je peux encore très bien piloter... Les Boches m'ont enlevé le pied... Ça me fait cinq doigts en moins... Il faut que j'en tue cinq, la première fois que je volerai !...

Dramatique capture d'un aviatik.

Le *Petit Parisien* a reçu d'un officier la lettre suivante, où il racontait les circonstances vraiment extraordinaires dans lesquelles un de nos aviateurs amena dans nos lignes un aviatik, dont il avait tué le pilote et l'observateur.

Mon ami, le lieutenant aviateur P..., est trop modeste pour faire part au public de ses exploits. Il compte à son actif une vingtaine d'actes héroïques et de résultats merveilleux, qu'il attribue seulement à une heureuse chance ! Je ne puis pourtant m'empêcher de relater l'un d'eux. Je ne désignerai mon ami que par l'initiale de son nom, pour ne pas froisser sa modestie excessive.

Dans la région de la Woëvre, il s'agissait de repérer plusieurs batteries ennemies, soigneusement dissimulées à la lisière d'un bois par des branchages. Le lieutenant P... et l'observateur L... durent, pendant un quart d'heure, sous le feu de l'ennemi, faire leur reconnaissance ; mais, grâce à des virages adroits, seuls quelques éclats d'obus perforèrent les ailes de l'avion.

De dépit, les Boches envoyèrent un aviatik à la poursuite de notre appareil. Chose étrange ! nos ennemis virent bientôt l'avion français survoler le leur et l'aviatik fuir celui qu'il poursuivait tout à l'heure.

Malheureusement, une panne de moteur survint, le lieutenant P... dut atterrir un peu brusquement dans un champ. L'aviateur allemand, le croyant tué, eut cette fois l'héroïque courage d'atterrir auprès. Et alors commence le fantastique de l'aventure : le lieutenant P..., faisant le mort, laisse

approcher l'officier allemand; puis, à bonne portée, lui loge une balle de revolver dans la tête, et, en moins de temps qu'il n'en faut pour le dire, bondit sur l'aviatik, où il tue l'observateur sur son siège.

Puis, double ronflement du moteur... L'aviatik vient dans nos lignes, suivi de l'aéro français conduit par l'observateur L... !

Sans compter que quelques heures après, nos artilleurs, meilleurs que leurs confrères boches, mettaient hors de service trois ou quatre des pièces repérées.

Ai-je bien fait, malgré mon indiscrétion, de révéler au public un acte aussi crâne et de splendide sang-froid ?

Sous-lieutenant R...

CHAPITRE VII

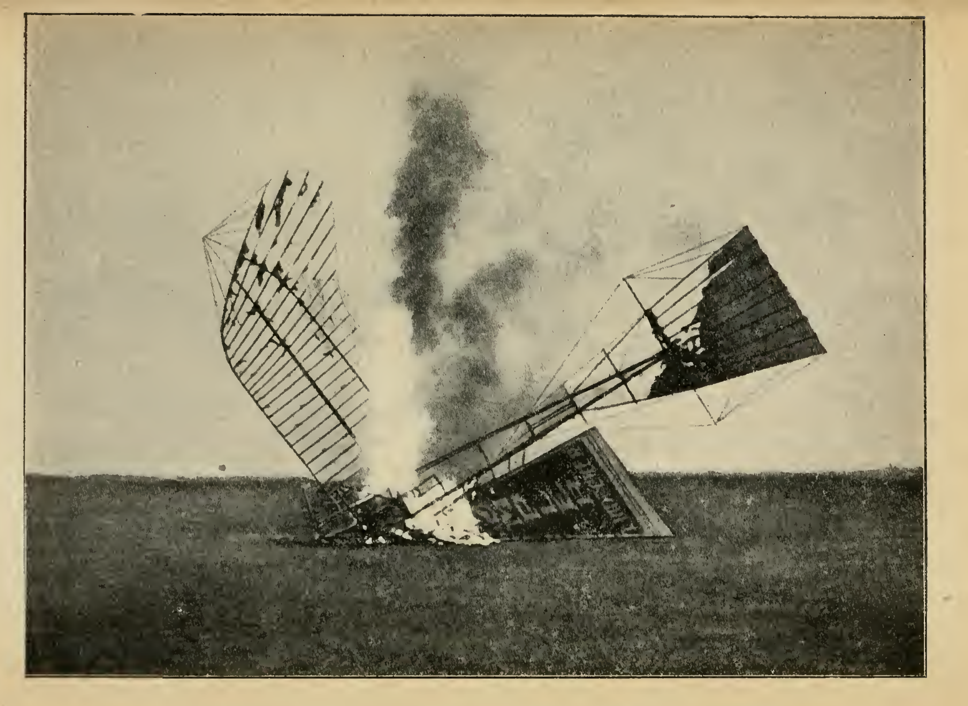
POUR LA SUPRÉMATIE AÉRIENNE

Au moment où le Parlement français discutait la grave question que l'on a appelée la « crise de l'aviation », et alors même que cette question semblait résolue et que ceux qui avaient perdu confiance étaient rassurés par des déclarations officielles, des zeppelins sont venus jeter des bombes sur Paris, deux jours de suite, les 29 et 30 janvier dernier et, plus récemment, une escadrille de zeppelins a jeté plus de 300 bombes en Angleterre.

Sans examiner l'intérêt et le succès de cette entreprise, — on sait que l'un des dirigeables a sombré au retour et qu'un autre a été fortement détérioré, — plusieurs questions se sont posées qu'il est intéressant d'examiner en détail.

Est-ce une preuve de mauvaise organisation de notre part? Notre aviation est-elle responsable? Ou plus simplement est-ce la défense terrestre, projecteurs et canons, qui est insuffisante? L'enquête a prouvé que les circonstances atmosphériques ont favorisé le raid sur Paris, alors qu'au contraire elles paralysaient notre défense.

La distance que les zeppelins ont à franchir pour venir survoler la capitale ne représente guère, aller et retour, plus de 350 à 400 kilomètres. Pour des engins de pareil cubage, la distance n'est donc pas un obstacle, et, comme on en a fait judicieusement la remarque, le peu de distance relative qui sépare



Un « taube », abattu par un de nos aviateurs, achève de se consumer.

Paris du front permet difficilement à nos avions, s'ils ne sont pas prévenus à temps, de rattraper le dirigeable tout en gagnant une hauteur suffisante pour livrer avantageusement combat. Cela n'a pas été le cas ; nos avions ont été prévenus à temps, mais les deux raids sur Paris ont été effectués par un brouillard intense, masquant le zeppelin à la vue des artilleurs, rendant impuissants les projecteurs, et à une hauteur de 3.500 à 4.000 mètres. Malgré cela, signalé au passage des lignes, les avions du camp retranché ont eu le temps matériel de grimper à une hauteur suffisante pour attaquer le zeppelin dès son arrivée sur Paris.

M. *Raoul Anglès,* député des Basses-Alpes, qui a pris part à la poursuite, en sa qualité d'aviateur, déclare à ce sujet, dans le *Matin :*

« Si l'on se souvient que, en mars 1915, le zeppelin vogua sur Paris pendant plus d'une heure, jetant ses bombes un peu partout, alors que cette fois il n'y demeura que quelques minutes à peine, ne lâchant qu'une cargaison réduite, il faut bien admettre que nos avions le troublèrent — mieux, l'interrompirent — dans son expédition. Sa fuite éperdue vers l'ouest, la poursuite épique à laquelle se livra contre lui l'un de nos avions qui le gagnait de vitesse tandis que l'autre le gagnait de hauteur, les jets successifs et considérables de lest auxquels l'équipage dut avoir recours pour atteindre cette altitude, augmentant par là même les difficultés et les dangers de son atterrissage au retour, tout prouve que la défense par avions, malgré certaines imperfections auxquelles il est possible de remédier, eut un effet utile dans la nuit du 29 janvier. Elle seule empêcha le pirate de commettre sur Paris des dommages plus graves et qui auraient pu être irréparables. »

Monoplan Fokker, à mitrailleuse, en plein vol.

Donc la défense a été efficace en ce qui concerne les avions. Ceux-ci étaient-ils assez nombreux? De l'avis des aviateurs, un plus grand nombre d'appareils eût été désirable. L'armement des avions était-il suffisant? Celui de quelques-uns, oui. Des *avions-canons,* voilà ce qu'il fallait, et en plus grand nombre, pour l'attaque; avec un projecteur à lumière froide de Dussaud pour éclairer le but et un canon dont les obus à éclats multiples cribleront de trous la carapace d'aluminium du zeppelin, le succès doit être assuré. Quant aux avions à mitrailleuse, il est douteux qu'ils puissent jouer un rôle bien efficace, voire même en utilisant des balles incendiaires, dont les résultats seraient, paraît-il, médiocres jusqu'à présent.

En résumé, nous possédons des moyens efficaces pour combattre les zeppelins. Renforcer ces moyens, en augmentant le nombre des avions et en généralisant l'armement sur ceux-ci, voilà ce qui est nécessaire et d'ailleurs ce à quoi nos services aéronautiques travaillent fiévreusement.

La question de valeur des appareils en service a été également posée. Nous pouvons affirmer que nous possédons des appareils supérieurs aux appareils ennemis.

Le Fokker, un monoplan allemand dont on a vraiment fait trop d'éloges, s'est vu attribuer par les pessimistes des qualités exagérées. Ce n'est, en réalité (Voir photo p. 63), qu'une copie du monoplan français Morane, à mitrailleuse tirant dans le champ de rotation de l'hélice : une invention de Garros, que nos ennemis ont servilement copiée, voilà tout. Une sorte de baignoire, en tôle d'acier de $2^{mm}5$ d'épaisseur, constitue un blindage de protection pour le pilote, le moteur et les réservoirs ; c'est la seule modification heureuse apportée

aux avions allemands, et encore cette protection est bien illusoire.

Enfin en ce qui concerne les moteurs, on a sévèrement critiqué nos moteurs rotatifs et porté aux nues le moteur fixe, utilisé sur les appareils allemands. Pourquoi alors nos ennemis ont-ils adapté sur le Fokker, leur plus récent appareil, un moteur rotatif? Ne serait-ce pas tout simplement parce qu'ils en ont reconnu les qualités? Combien d'appareils ont pris feu à cause des retours de flamme, si dangereux dans certains moteurs fixes?

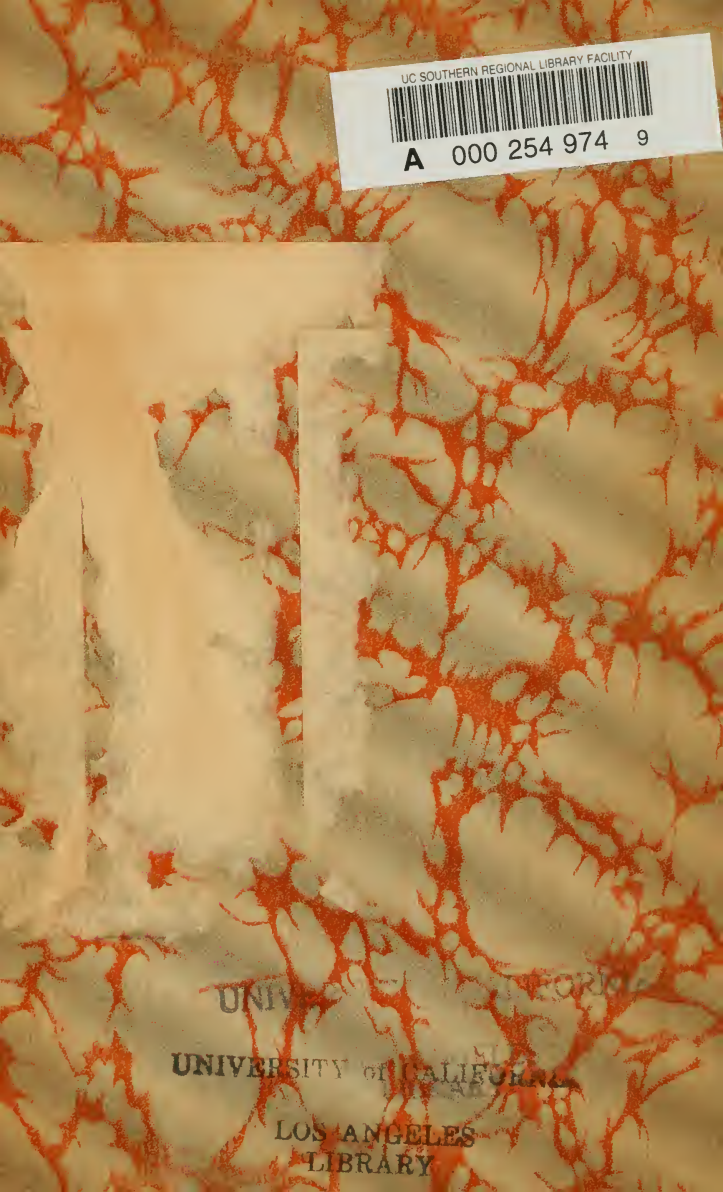
Le Fokker est un appareil de chasse; nous pouvons lui opposer deux appareils : l'avion de chasse à mitrailleuse, faisant 140 à 150 kilomètres à l'heure, meilleur grimpeur et plus souple que le Fokker, — et l'avion-canon, dont on a pu dernièrement apprécier les qualités de combat. Un communiqué officiel a relaté la lutte de trois avions-canons contre des Fokkers : deux de ces derniers ont été abattus et les autres se sont enfuis.

En résumé, soyons confiants dans notre aviation et souhaitons qu'elle se développe davantage encore. Et si nos ennemis cherchent des succès faciles « qui remontent un peu le moral défaillant des populations allemandes, dont le cœur et le ventre se serrent en même temps », dans nos écoles d'aviation règne une activité fiévreuse qui nous donne les plus belles espérances. Ah! certes, notre cinquième arme provoquera bien des déceptions chez l'orgueilleux peuple allemand, et donnera naissance à bien des pages écrites à la gloire de nos valeureux aviateurs, dont le rôle, dans la lutte pour l'effondrement final de l'Empire germanique, semble s'affirmer de plus en plus grand.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES MATIÈRES

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — AVRIL 1916


UC SOUTHERN REGIONAL LIBRARY FACILITY
A 000 254 974 9
UNIVERSITY of CALIFORNIA
LOS ANGELES
LIBRARY

